

Final

Inspeção e Reabilitação de Pontes e Viadutos em Betão Armado na R.A.M.

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Rúben Fábio Abreu de Jesus

MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL



UNIVERSIDADE da MADEIRA

A Nossa Universidade

www.uma.pt

fevereiro | 2015

M
S Ins
D-R

T/4
624
yes Ins
+ ED-A

UNIVERSIDADE DA MADEIRA
BIBLIOTECA

Inspeção e Reabilitação de Pontes e Viadutos em Betão Armado na R.A.M.

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Rúben Fábio Abreu de Jesus

MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

ORIENTADOR

Paulo Renato Camacho da Silva Lobo

CO-ORIENTADOR

Vitor Alexandre Rodrigues Brito



Inspecção e Reabilitação de Pontes e Viadutos em Betão Armado na R.A.M.

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia
Civil

Autor:

Rúben Fábio Abreu de Jesus

Orientador:

Paulo Renato Camacho da Silva Lobo

Coorientador:

Vítor Alexandre Rodrigues Brito

Funchal, Fevereiro, 2015

AGRADECIMENTOS

Ao eng.º Paulo Lobo por ter aceitado ser meu orientador nesta dissertação e que demonstrou ter uma paciência e disponibilidade inestimável em todas as situações. Agradeço todo o esforço, conselhos, recomendações e críticas, que foram muito importantes para a conclusão deste trabalho.

À Betar, principalmente ao meu coorientador eng.º Vitor Brito por ter disponibilizado toda a informação que precisei, sem esquecer uma palavra de gratidão ao eng.º Pedro Paulo e eng.º Simão Santiago pela ajuda e apoio prestado.

Ao LREC, com quem dei os primeiros passos na área da engenharia civil e aprendi muito, nomeadamente ao meu orientador de estágio eng.º César Lourenço e ao diretor eng.º Paulo França que possibilitou uma experiência gratificante e o primeiro contato com algumas pontes da Região.

Ao meu tio João e tia Lucinda que foram fundamentais na minha educação, e na transmissão dos valores mais bonitos que posso ter. Foste e sempre serás, o meu exemplo a seguir, o meu Ídolo.

Aos meus pais Sebastião e Bernardete, irmãs Letícia e Cátia, sobrinhos Santiago, André e Francisca, pelo amor e carinho que me oferecem.

Aos meus colegas de curso, em especial ao João Gonçalves, pelo debate de ideias, pela amizade e companheirismo,, tendo sido fundamental com a sua ajuda para a conclusão do trabalho.

E por último, mas em primeiro na minha vida, à minha mulher Joana que está comigo em todos os momentos, bons e menos bons, com as suas palavras, carinho, conforto, amor, compreensão, e alguma paciência, obrigado por seres a obra de arte da minha vida.

RESUMO

A presente dissertação insere-se na área da inspeção e da reabilitação de obras de arte, mais especificamente pontes e viadutos rodoviários. Uma das principais motivações para o desenvolvimento deste trabalho justifica-se pelo facto de existir na Região Autónoma da Madeira, um elevado número de obras de arte relativamente à sua área, sendo necessário cada vez mais investir em meios e conhecimento especializado na procura de formas economicamente interessantes de inspeção, diagnóstico, gestão da conservação e da monitorização dessas obras de arte.

O trabalho desenvolvido teve por objetivo identificar as principais anomalias de pontes e viadutos de betão armado, e, através do auxílio fornecidos por técnicas de inspeção e monitorização, indicar intervenções preventivas e corretivas, visando assegurar a durabilidade dessas obras de arte durante as suas vidas úteis.

Numa primeira fase procurou-se enquadrar os conceitos relacionados com as anomalias associadas aos elementos de betão armado enquanto material de construção, bem como na importância da durabilidade. Identificou-se os agentes e os mecanismos de deterioração quer do betão e quer do aço, de forma a direcionar o estudo para as principais anomalias que podem-se verificar nos diversos componentes de uma ponte ou viaduto.

A seguinte fase do trabalho consiste na identificação dos principais métodos e procedimentos necessários para efetuar-se uma correta inspeção, tendo como objetivo avaliar a natureza e a extensão das anomalias, o que possibilitará na definição de intervenções adequadas de manutenção, conservação, reabilitação ou reforço.

Por fim, com base nas fichas de inspeção fornecidas pelas Betar¹, fez-se análise do estado de manutenção e do estado de conservação de um conjunto de pontes e viadutos na R.A.M., bem como das anomalias mais frequentes. Elaborou-se ainda um guia de anomalias, indicando-se as principais diretrizes para a realização de inspeções em pontes e viadutos, evidenciando as anomalias que podem verificar-se com maior frequência, bem como os trabalhos recomendados para cada situação.

Palavras-chave: Obras de arte, Anomalia, Inspeção, Manutenção, Conservação e Reabilitação

¹ Betar Consultores Lda., entidade responsável pelos trabalhos de inspeção nas OA da Via Expresso e Via Litoral

ABSTRACT

The current dissertation is inserted in a inspection and rehabilitation area of bridges and viaducts for road traffic. One of the main motivations for the development of this work is justified with the existence, in Região Autónoma da Madeira, of a high number of bridges relatively to its area, being necessary to invest in equipment and specialized knowledge in research of ways ,with economical interest, of inspection, diagnostic, conservation management and works of art tracking.

The work developed had the main propose of identifying the main anomalies of reinforced concrete bridges and road traffic viaducts, and, with the help of tracking and inspection technics, provide preventive and corrective interventions, assuring the works of art durability during its life span.

In a first phase, a search was conducted for the concepts related with the anomalies associated with the reinforced concrete elements as well as the importance of durability. The agents and the mechanisms of deterioration were identified for the concrete and steel, in a way to direct the study to the main anomalies that can be verified in the different components of a bridge or viaduct.

The next phase consists in the identification of the main methods and procedures necessary to conduct a correct work of inspection, having as main purpose to evaluate the nature and propagation of the anomalies, which will enable the definition of adequate maintenance intervention, conservation, rehabilitation or reinforcement.

To conclude, and minding the inspection sheets supplied by Betar, it was made a statistical survey of the maintenance state and conservation state of a group of bridges and viaducts in R.A.M., as well as the identification of the more frequent anomalies. It was developed a anomalies guide, indicating the main directives for the inspection of bridges and viaducts, focusing the anomalies that can be verified with more frequency, as well as the recommended works for each situation.

Keywords: Bridges, Anomalies, Inspection, Maintenance,
Conservation and Rehabilitation

ÍNDICE

ÍNDICE	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE TABELAS.....	xiii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xv
1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
1.1. Enquadramento geral	1
1.2. Motivação.....	2
1.3. Objetivos	2
1.4. Organização da dissertação	3
2. PONTES E VIADUTOS RODOVIÁRIOS.....	5
2.1. Evolução histórica	5
2.1.1. Da pré-história até ao Renascimento	5
2.1.2. Revolução industrial até a atualidade	7
2.2. Redes rodoviárias e ferroviárias portuguesas.....	9
2.2.1. Contexto nacional	9
2.2.2. Contexto regional.....	14
2.3. Designações gerais	15
2.4. Componentes mais comuns.....	17
2.5. Tipologia e sistemas estruturais	21
2.6. Ciclo de vida	22
3. ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE BETÃO ARMADO	24
3.1. Betão armado enquanto material de construção.....	24

3.2.	Durabilidade	25
3.2.1.	Enquadramento normativo e especificações gerais	26
3.2.2.	Tempo de vida útil	29
3.2.3.	Requisitos de durabilidade	31
3.2.4.	Projeto de durabilidade	32
3.2.5.	Recomendações para estruturas mais duráveis	33
3.3.	Deterioração em estruturas de betão armado	35
3.3.1.	Agentes e mecanismos de deterioração do betão	37
3.3.2.	Agentes e mecanismos de deterioração do aço	44
3.4.	Fases do aparecimento de anomalias	48
3.4.1.	Na fase de projeto/conceção	48
3.4.2.	Na fase de construção	48
3.4.3.	Na fase de exploração/serviço	49
4.	INSPEÇÃO E AVALIAÇÃO	51
4.1.	Sistema de Gestão de Obras de Arte	51
4.1.1.	GOA	53
4.2.	Inventário	56
4.2.1.	Planeamento	57
4.2.2.	Procedimentos de recolha e registo de dados	58
4.3.	Inspeção de Rotina	58
4.3.1.	Procedimentos gerais	59
4.3.2.	Avaliação do Estado de Manutenção:	61
4.4.	Inspeção Principal	64
4.4.1.	Procedimentos gerais	64
4.4.2.	Avaliação do Estado de Conservação	68
4.5.	Inspeção Especial	71
4.5.1.	Tipos de ensaios realizados	71
4.5.2.	Outros trabalhos que podem ser efetuados	73

4.6.	Inspeção Subaquática	75
4.7.	Modelo do ciclo das inspeções.....	76
5.	ESTUDO E ANÁLISE DE UM CONJUNTO DE OBRAS DE ARTE.....	78
5.1.	Amostra dos casos de estudo.....	78
5.2.	Tipos de obras de arte	78
5.2.1.	Estados de manutenção e trabalhos de manutenção	79
5.2.2.	Estados de conservação e trabalhos de reparação.....	81
5.3.	Pontes e Viadutos	83
5.3.1.	Estado de manutenção	83
5.3.2.	Comparação dos estados de manutenção atribuídos pelo autor com os atribuídos nos relatórios da Betar	84
5.3.3.	Estado de conservação	84
5.3.4.	Custos atribuídos aos componentes	85
5.3.5.	Análise individual dos componentes	86
5.3.6.	Análise combinada dos componentes	100
6.	Conclusões	103
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	104
	Anexo A	107
	Anexo B	109
	Anexo C	110

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1: Exemplos de pontes desde a pré história até ao Renascimento (adaptado de Ryall, 2000).....	6
Figura 2-2 <i>Iron bridge</i> (adaptado de Silva, 2005)	7
Figura 2-3 Exemplos de pontes em aço (adaptado de Silva, 2005)	8
Figura 2-4 Exemplos de pontes em Portugal	9
Figura 2-5 Desenvolvimento da rede ferroviária em Portugal (CP, 2006)	13
Figura 2-6 Desenvolvimento da rede rodoviária em Portugal (INE, 2010).....	13
Figura 2-7 Rede rodoviária concessionada na RAM (adaptado de Via Litoral).....	15
Figura 2-8 Tabuleiros e apoios intermédios da Ponte do Vigário.....	18
Figura 2-9 Encontro oeste na Ponte dos Socorridos	18
Figura 2-10 Tipos de guarda corpos	19
Figura 2-11 Pormenor de cornijas na Ponte do Vigário.....	19
Figura 2-12 Guarda de segurança central e lateral do viaduto do Comboio.....	19
Figura 2-13 Alguns tipos de aparelhos de apoio.....	20
Figura 2-14 Alguns tipos de juntas de dilatação	20
Figura 2-15 Fluxograma do ciclo de vida de uma ponte (adaptado de Ryall, 2000).....	23
Figura 3-1 Definição do tempo útil (adaptado de Costa, 2006).....	30
Figura 3-2 Vida útil e vida residual de uma estrutura de betão armado (CEB, 1992).....	31
Figura 3-3 Influência da razão água/cimento na permeabilidade (CEB, 1992).....	33
Figura 3-4 Fissuras por retração plástica em lajes e pavimentos (Coutinho, 1998)	42
Figura 3-5 Fissuras por assentamento plástico (CEB, 1992).....	43
Figura 3-6 Tipos de fissuras (adaptado de CEB,1992 e CEB,2002).....	43
Figura 3-7 Mecanismo de corrosão das armaduras (Lúcio, 2008).....	44
Figura 3-8 Mecanismo de corrosão devido à carbonatação (Lúcio, 2008).....	45
Figura 3-9 Mecanismo de corrosão devido à penetração de cloretos (Lúcio, 2008)	46
Figura 4-1 Diagrama de um sistema de gestão de obras de arte	53
Figura 4-2 Diagrama do funcionamento do sistema GOA	56
Figura 4-3 Fluxograma proposto para a realização de uma inspeção de rotina.....	63
Figura 4-4 Fluxograma proposto para a realização de uma inspeção principal.....	70
Figura 4-5 Fluxograma proposto para a realização de uma inspeção principal.....	70
Figura 4-6 Fluxograma proposto para um modelo de ciclo de inspeções.....	77
Figura 5-1 Tipos de obras de arte analisadas	79

Figura 5-2 Estado de manutenção e necessidade de trabalhos	80
Figura 5-3 Estado de conservação e necessidade de trabalhos	81
Figura 5-4 Estado de manutenção em pontes e viadutos e necessidade de trabalhos	83
Figura 5-5 Estado de conservação em pontes e viadutos e necessidade de trabalhos	84
Figura 5-6 Custo dos trabalhos atribuídos por componente	85
Figura 5-7 Trabalhos de manutenção nos encontros	86
Figura 5-8 Anomalias nos encontros da OA 4 (Betar, Inspeção de Rotina, 2013)	87
Figura 5-9 Trabalhos de reparação nos encontros	87
Figura 5-10 Anomalias nos encontros da OA 4 (Betar, Inspeção Principal, 2010)	88
Figura 5-11 Tipos de trabalhos de manutenção em revestimento de vias	89
Figura 5-12 Anomalias identificadas nos revestimentos de via das OA 10 e 14 respetivamente (Betar, Inspeção de Rotina, 2013)	89
Figura 5-13 Tipos de trabalhos de manutenção em juntas de dilatação	90
Figura 5-14 Anomalias nas juntas de dilatação das OA 14 e 1 respetivamente (Betar, Inspeção de Rotina, 2013)	91
Figura 5-15 Tipos de trabalhos de reparação em juntas de dilatação	91
Figura 5-16 Vista interior dos encontros, com pormenores das junta da OA 15 (Betar, Inspeção de Rotina, 2013)	92
Figura 5-17 Tipos de trabalhos efetuados em guarda corpos	93
Figura 5-18 Anomalias em guarda corpos da OA 10 (Betar, Inspeção de Rotina, 2013) ...	93
Figura 5-19 Tipos de trabalhos efetuados em sistemas de drenagem	94
Figura 5-20 Anomalias resultantes do incorreto funcionamento do sistema de drenagem na OA3 (Betar, Inspeção de Rotina, 2013)	95
Figura 5-21 Tipos de trabalhos de manutenção atribuídos aos tabuleiros	96
Figura 5-22 Anomalias no tabuleiro da OA9 (Betar, Inspeção de Rotina, 2013)	96
Figura 5-23 Tipos de trabalhos de reparação em tabuleiros	97
Figura 5-24 Anomalias nos tabuleiros da OA 4 e OA 14 (Betar, Inspeção Principal, 2010)	98
Figura 5-25 Tipos de trabalhos executados nos aparelhos de apoio	99
Figura 5-26 Anomalias nos aparelhos de apoios de OA 8, OA 34 e OA 1 respetivamente (Betar, Inspeção Principal, 2010)	99
Figura 5-27 Principais trabalhos de reparação efetuados em elementos de betão armado	100

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2-1 Tipos de obras de arte (adaptado de Reis, 2002 e Betar).....	17
Tabela 2-2 Tipologia de ponte segundo o sistema estrutural longitudinal (Reis, 2002)	22
Tabela 3-1 Classe de exposição ambiental (reproduzido de CEN,2002)	27
Tabela 3-2 Reprodução dos quadros 6 e 7 da especificação LNEC E464.....	28
Tabela 3-3 Valores indicativos do tempo de vida útil de projeto (CEN, 2002).....	30
Tabela 3-4 Principais sintomas de deterioração nas estruturas de betao (adaptado de Costa, 2008)	37
Tabela 3-5 Causas da fissuração no betão (CEB, 1992).....	42
Tabela 3-6 Alinhamento das fissuras	44
Tabela 3-7 Mecanismos de deterioração do betão e do aço, soluções recomendadas (adaptado de DNIT, 2010 e Coutinho 1998)	47
Tabela 4-1 Situações a verificar numa inspeção de rotina.....	61
Tabela 4-2 Avaliação do estado de manutenção.....	62
Tabela 4-3 Situações a verificar numa inspeção principal	66
Tabela 4-4 Avaliação dos parâmetros que influenciam o estado de conservação, adaptado de (Vieira,2003)	69
Tabela 4-5 Significado dos estados de conservação (adaptado de Vieira, 2003)	69
Tabela 4-6 Principais ensaios realizados numa inspeção principal	72
Tabela 5-1 Trabalhos de manutenção atribuídos	80
Tabela 5-2 Trabalhos de reparação atribuídos	82

LISTA DE ABREVIATURAS

OA	Obra de Arte
GOA	Gestão de Obras de Arte
RAM	Região Autónoma da Madeira
DL	Decreto de Lei
VE	Via Expresso
VL	Via Litoral
EP	Estradas de Portugal
CP	Caminhos de Portugal
REFER	Rede Ferroviária Nacional
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
LREC	Laboratório Regional de Engenharia Civil
RSA	Regulamento de Segurança e Ações para Edifícios e Pontes
REBAP	Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado
JAЕ	Junta Autónoma de Estrada
EM	Estado de Manutenção
EC	Estado de Conservação

1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1.1. Enquadramento geral

Em Portugal existe um grande património de pontes e viadutos, conhecidos em engenharia como obras de arte especiais, predominando as obras em alvenaria, seguido das obras em betão armado e uma fatia residual das obras em aço. O aparecimento do betão e do aço fez com que as soluções em alvenaria fossem perdendo progressivamente competitividade, mas em qualquer uma das soluções referidas, qualquer obra de arte apresenta deterioração com o passar do tempo. Este problema deve-se a inúmeros fatores entre os quais destaca-se: falta de Inspeção e falta de trabalhos periódicos de manutenção e de reparação. Para mitigar o aparecimento de anomalias associadas ao processo de deterioração, é necessário haver uma concertação entre todos os intervenientes responsáveis pela gestão das obras de arte, desde a construção até à exploração, de modo a que seja efetuada uma utilização adequada dos recursos ao longo do ciclo de vida da estrutura.

Na Região Autónoma da Madeira, nas últimas duas décadas do século XX e na primeira década do século XXI assistiu-se a ritmo intenso no desenvolvimento das suas vias de comunicação, incluindo a construção de pontes e viadutos. Devido ao elevado ritmo de construção observado, existiu a necessidade de adotar-se medidas de atuação durante a fase de exploração, nomeadamente com trabalhos de manutenção e trabalhos de reparação que são resultados das atividades de inspeção. A preconização destes trabalhos deverá ser feita de forma individual para cada um dos componentes das obras de arte, determinando deste modo o custo total dos trabalhos necessários para assegurar um adequado desempenho durante a vida útil de um determinado componente.

Nos últimos anos, as obras de arte referidas têm sido alvo de inspeções e intervenções devido ao seu estado de deterioração. Existem diversos procedimentos relativamente aos trabalhos de inspeção bem como de técnicas e soluções de reparação das estruturas, neste sentido é fundamental conhecer-se quais as soluções mais indicadas para cada situação. Cabe às concessões a responsabilidade de efetuar a gestão das redes rodoviárias, ou seja, explorar as vias concessionadas em condições de operacionalidade e segurança, estabelecidas nos contratos de concessão.

Atualmente é prática corrente a implementação de sistemas de gestão informatizados de obras de arte, possibilitando às entidades responsáveis, obterem um conhecimento detalhado do seu património, quer ao nível do estado de manutenção quer ao nível do estado de conservação, de modo a atribuir-se os trabalhos necessários, garantindo segurança e durabilidade das respetivas estruturas.

1.2. Motivação

A motivação deste trabalho está associada à vontade de desenvolver um assunto que se considera pertinente no contexto atual da sociedade, procurando criar um trabalho que possa servir de base a outros para continuarem a desenvolver e a explorar este tema, uma vez que a informação e os trabalhos neste campo são demasiados diversificados, além de que esta matéria é pouco abordada nos cursos de engenharia civil.

A redação desta dissertação coincide com o aumento da preocupação na conservação e na manutenção das obras de arte, motivada por diversos fatores, entre os quais destaca-se o número significativo de obras de arte na Região Autónoma da Madeira.

Outro motivo que está associado à realização deste trabalho foi a particularidade da construção na RAM, nomeadamente com a utilização de agregados contendo cloretos e a significativa exposição de muitas obras a ambiente mais agressivos, influenciando os aspetos relacionados com a qualidade e com a durabilidade das estruturas.

A elaboração de um documento orientador, torna-se assim indispensável e assume uma importância fundamental para as obras de arte da Madeira, nomeadamente para as pontes e viadutos rodoviários, pelo que os trabalhos das inspeções são essenciais para conhecer-se o real estado da estrutura, de modo a poder-se preconizar os trabalhos de reabilitação necessários para garantir-se uma maior segurança.

1.3. Objetivos

A elaboração desta dissertação tem como objetivos identificar as principais anomalias que podemos observar nas pontes e nos viadutos rodoviários em betão armado, e, através de técnicas de inspeções e monitorizações, perceber o real estado de manutenção e de conservação dos seus componentes, indicando se necessário, intervenções preventivas

e corretivas de reabilitação, ou seja, trabalhos de manutenção e de reparação visando prolongar a vida útil dessas obras de arte.

Pretende-se igualmente alertar para a importância de conhecer-se o real estado de manutenção e de conservação das obras referidas de modo a poder-se atuar de forma eficaz e atempada.

É apresentado ainda um guia com as principais diretrizes para a realização de inspeções em pontes e viadutos, salientando as anomalias que podem verificar-se, bem como os trabalhos recomendados para a reparação das mesmas.

Para o alcance destes objetivos, efetuou-se sensivelmente durante um mês, uma visita aos escritórios da Betar em Lisboa, de modo a conhecer-se e a perceber-se todos os meios e procedimentos envolventes às atividades de inspeção e aos trabalhos de intervenção recomendados por esta empresa, visto ser a entidade responsável pelos trabalhos de inspeção a um determinado conjunto de obras de arte na Madeira, concessionadas à Via Expresso e Via Litoral.

1.4. Organização da dissertação

A presente dissertação foi dividida em sete capítulos, apresentando-se de uma forma resumida o conteúdo de cada um deles, de modo a serem cumpridos os objetivos propostos.

Neste primeiro capítulo, é feito o enquadramento geral do tema escolhido, bem como as motivações que levaram à sua escolha. Os objetivos pretendidos para a dissertação são igualmente descritos neste capítulo, terminado com uma descrição da organização em capítulos.

No capítulo 2 pretende-se introduzir conceitos gerais sobre obras de arte enquadrando as pontes e os viadutos nesta designação, pretende-se ainda abordar a sua evolução histórica, a tipologia e sistemas estruturais mais comuns, bem como identificar as várias etapas do ciclo de vida de uma obra de arte.

O terceiro capítulo tem como finalidade de apresentar as anomalias e as causas que estão associadas ao betão armado, identificando os agentes e os mecanismos responsáveis pela deterioração do betão e do aço, referindo ainda as anomalias que podem ser observadas nas diferentes etapas do seu ciclo de vida de uma ponte.

No capítulo 4, pretende-se descrever os tipos de inspeções que podem ser realizadas, referindo os procedimentos gerais, a instrumentação e os ensaios que podem ser utilizados nestas atividades, este assunto tem como referência os procedimentos adotados pela Betar e um sistema de gestão desenvolvido pelos mesmos, designado por GOA- Gestão de Obras de Arte. É referido ainda neste capítulo a importância da implementação de um sistema de gestão de obras de arte.

No quinto capítulo fez-se uma análise estatística a um conjunto de pontes e viadutos existentes na Região Autónoma da Madeira, em que procura-se identificar as anomalias mais frequentes, bem como o estado de manutenção e o estado de conservação em essas mesmas obras de arte encontram-se. Pretende-se ainda descrever os principais trabalhos que podem ser recomendados após as respetivas inspeções periódicas às obras de arte, nomeadamente de manutenção e de reparação.

No último capítulo, são referidas as conclusões gerais desta dissertação, bem como as contribuições que a mesma vem trazer ao tema desenvolvido. O capítulo é concluído com propostas de desenvolvimentos futuros em torno deste tema e são feitas recomendações que têm como objetivo o desenvolvimento e promoção dos trabalhos necessários de inspeção e de reabilitação em pontes e viadutos.

2. PONTES E VIADUTOS RODOVIÁRIOS

2.1. Evolução histórica

A evolução das pontes e viadutos verificou-se quer ao nível do material utilizado quer ao nível do sistema estrutural considerado. Identificou-se dois períodos na evolução: da pré-história até ao Renascimento, em que predominavam particularmente as pontes em madeira e pedra (principalmente); e da Revolução Industrial até a atualidade, em que começaram a surgir novas matérias na construção das pontes, possibilitando adotar-se novos sistemas estruturais (Ryall, 2000).

2.1.1. Da pré-história até ao Renascimento

Na idade da Madeira e da Pedra, as primeiras pontes foram surgindo naturalmente com a queda de troncos e grandes pedras sobre linhas de água e vales, devido à necessidade do Homem ultrapassar certos obstáculos, na exploração de novos territórios, bem como na procura de alimento e de abrigo. Sendo assim, as primeiras pontes eram constituídas por materiais disponibilizados pela Natureza, nomeadamente troncos de árvore e cabos torcidos de fibra vegetais amarrados nas margens em maciços rochosos naturais (Fig.2-1 a). Saliente-se que a madeira constituiu, na altura, um dos materiais preferenciais para a construção de pontes devido ao baixo peso específico, boa resistência e facilidade de ser trabalhada.

Com o surgimento da idade do bronze, por volta do ano 4000 a.C., com a necessidade de serem construídas estruturas mais duradouras, surgem as pontes em pedra. No entanto este sistema estrutural estava bastante limitado, porque além do elevado peso dos elementos, existia o problema da menor resistência da pedra a esforços de flexão e a tensões de tração. As pontes primitivas eram principalmente assentes em finas estruturas, utilizando em conjunto ou separadamente a pedra e a madeira (Ryall, 2000).

Na Era Romana, apenas no século III a.C., os romanos sabiam que as estruturas de madeira particularmente submersas em água tinham uma vida curta. É a partir da descoberta da argamassa de cal e do cimento pozolânico que os romanos iniciam uma nova técnica de construção de pontes em alvenaria de pedra, nomeadamente através de

princípios teóricos de construção, em que denotavam uma preocupação pela simetria, utilizavam arcos iguais entre si com tabuleiro de perfil horizontal, pilares com espessuras que correspondiam a um $\frac{1}{4}$ do vão de modo a conseguirem absorver os impulsos durante a construção, etc. Este conhecimento permitiu desenvolver-se sistemas estruturais em arco, possibilitando vencer vãos que as vigas de pedra não podiam alcançar. Em Portugal existem muitos exemplos da influência Romana, como por exemplo a Ponte de *Trajano* em Chaves (Fig.2-1 b).

A queda do Império Romano no século V fez com que houve-se uma estagnação no desenvolvimento da construção das pontes, surgindo então a Idade Negra das pontes. É só na Idade Média que os monges transmitem os ensinamentos e tentam conservar as obras romanas, além de que lançam uma nova tendência que são as pontes fortificadas, as quais abrigavam capelas, oficinas e lojas. A grande contribuição da Idade Média para a técnica das pontes é a diversificação dos arcos que passam a ser utilizados arcos ogivais, em detrimento de arcos semicirculares utilizados pelos romanos, não se preocupando por manter uma simetria nas suas estruturas, tentando alongar os arcos, deste modo conseguem obter vãos variáveis e maiores (Ryall, 2000).

O renascimento trouxe igualmente a inovação e a arte de construir-se pontes que espalhou-se por toda a Europa, os construtores dessa época estavam bastante empenhados na tecnologia dos materiais, nas reduções do tempo de trabalho bem como na quantidade de materiais obtidos. A ponte mais conceituada durante esse período foi a Ponte *Rialto*, concebida por António da Ponte em Veneza (Fig.2-1 c).



a. Ponte pré-histórica

b. Ponte Trajano, Chaves

c. Ponte Rialto, Veneza

Figura 2-1: Exemplos de pontes desde a pré história até ao Renascimento (adaptado de Ryall, 2000)

2.1.2. Revolução industrial até a atualidade

Foi com a revolução industrial, no final do século XVIII, que assistiu-se a uma grande evolução na construção de pontes. Novas formas de transporte em massa e o aumento da utilização do carvão foram fundamentais para o desenvolvimento da construção das pontes (Ryall, 2000). A transição entre pontes em alvenaria para pontes em ferro fundido deveu-se ainda à combustão do carbono em forno através de altas temperaturas. A descoberta do cimento em 1824 por Joséph Aspdin², através da combustão do calcário e da argila em Leeds, também foi determinante para esta fase, denominada de Idade de Ferro (1775-1880). A primeira ponte construída totalmente em ferro fundido, foi a “Iron bridge” (Silva P., 2005), situa-se sobre o rio Severn, em Inglaterra e foi construída em 1779 (Fig.2-2).

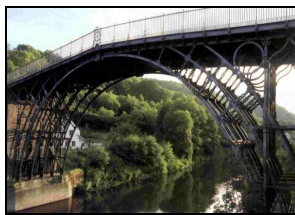


Figura 2-2 *Iron bridge* (adaptado de Silva, 2005)

As pontes em ferro revelaram-se problemáticas na medida em que as vibrações e as cargas dinâmicas provocadas pelas locomotivas pesadas criavam ciclos de tensão dando origem a fenómenos de fadiga no ferro fundido. Para ultrapassar estes problemas surge o aço, que não passa de um ferro refinado onde o carbono e outras impurezas eram extraídos. Surgiu assim a Era do aço em 1880 que contribui para um incremento na ductilidade e na resistência das estruturas das pontes (Silva P., 2005).

Com este avanço desenvolveram-se novos e mais competitivos sistemas estruturais, como por exemplo: o arco treliçado (Fig.2-3 a); a treliça em viga de Gerber (Fig.2-3 b); pontes suspensas (Fig.2-3 c); e vigas com perfis e caixão em aço (Fig.2-3-d). Os produtos siderúrgicos tornaram-se mais competitivos e o aço estrutural passa a ser utilizado na construção de pontes.

² Empresário nascido em Inglaterra, fabricante de cimento que obteve a patente do cimento Portland a 21 de Outubro de 1824



Figura 2-3 Exemplos de pontes em aço (adaptado de Silva, 2005)

Ao mesmo tempo que se desenvolve a construção de pontes metálicas, os engenheiros começaram a conhecer o verdadeiro potencial do betão como material de construção, chegando à conclusão de que o betão ao ser misturado com aço, conferia às suas estruturas maior ductilidade. As pontes em betão armado começavam a dar os seus primeiros avanços em meados do século XIX (Ryall, 2000).

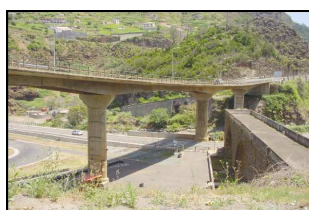
O betão tornava-se assim num material de eleição na construção das maiores pontes do mundo, o relativo custo do betão comparativamente ao aço, a capacidade de ser moldável ou formar vigas pré-esforçadas, tornou o betão economicamente mais atrativo. Até aos anos 60, os arcos em betão armado foram muito utilizados sobretudo para grandes vãos, mas o domínio do betão armado foi totalmente transformado com o desenvolvimento do pré-esforço. As próprias pontes em betão armado sofreram também um processo evolutivo nos seus sistemas estruturais.

Em Portugal continental, a primeira ponte a ser construída em betão armado foi a ponte Luiz Bandeira (Fig.2-4 a) no vale do rio Vouga, em 1907 a obra foi concluída, é hoje considerada uma das pontes de betão armado mais antigas da Europa, uma ponte em arco que possui um vão com cerca de 44 m (Ferreira, 2011).

Na Madeira, a evolução das pontes rodoviárias seguiu a mesma tendência, só que um pouco mais tardia, ou seja, até meados século XX ainda dominavam as pontes em alvenaria. De destacar uma ponte construída no Faial entre 1907 e 1910 (a maior ponte da ilha da Madeira até a data), tinha 130 metros e era conhecida pela "ponte das sete bocas" pois era constituída por sete arcos em pedra, mas um temporal a 2 de Março de 1984, destruiu-a. Atualmente restam ruínas da outrora obra de arte (Fig.2-4 b).



a. Ponte Luiz Bandeira



b. Ponte do Faial

Figura 2-4 Exemplos de pontes em Portugal

2.2. Redes rodoviárias e ferroviárias portuguesas.

2.2.1. Contexto nacional

O desenvolvimento das pontes e viadutos não pode ser demarcado do desenvolvimento das redes rodoviárias e ferroviárias em Portugal. A história do desenvolvimento das redes rodoviárias e ferroviárias em Portugal foi feito à custa de estratégias implementadas ao longo dos últimos séculos, mais precisamente fatores políticos, sociais e económicos. A evolução das redes rodoviárias e ferroviárias portuguesas pode ser dividida em cinco períodos (Eloi, Moldovan, & Marques, 2013):

- Antes de 1852;
- 1852-1910;
- 1910-1933;
- 1933-1985;
- 1985-presente.

Até a segunda metade do século XIX, o povo português utilizava maioritariamente o transporte marítimo e o transporte por tração animal. Não havia qualquer tipo de rede ferroviária, apesar de existir uma rede de estradas que cobria as principais cidades.

Comentado [RJ1]: O ponto 2.2. foi realizado à custa da citação referida, é necessário voltar a colocar a mesma citação nos restantes parágrafos?

Naquele tempo, uma viagem entre Lisboa e Porto podia durar três dias. A maioria das estradas não eram asfaltadas, e só algumas foram pavimentadas utilizando o macadame³. A primeira estrada de macadame construído em Portugal foi em 1824, em Lisboa.

O ano de 1844 ficou marcado como um ano histórico devido à criação da Companhia das Obras Públicas Portuguesa, foi uma entidade criada por um grupo de capitalistas que pretendiam estabelecer regras para realização de todas as grandes obras públicas e para a melhoria dos meios de comunicações do país. A 1 de Março de 1845, a empresa celebrou um contrato com o Governo, em que este confiava a execução das obras necessárias para melhorar as comunicações do país, ou seja, a abertura e a melhoria de várias estradas e a construção da primeira linha ferroviária. A Companhia das Obras Públicas Portuguesa tornava-se assim na primeira concessionária em Portugal, foi concedido um concessão por quarenta anos para as estradas e noventa e nove anos para as ferrovias. Apesar de tais privilégios, a empresa não foi capaz de seguir o seu plano e em finais de 1855, foi encerrada, tendo feito apenas estudos e construção de algumas estradas e linhas ferroviárias em Lisboa.

O período entre 1852-1910 é lembrado devido ao trabalho realizado por António Maria de Fontes Pereira de Melo⁴ e da construção da maior parte da rede ferroviária nacional. Em 1852, o Ministério das Obras Públicas é criado, dirigido por Fontes Pereira de Melo, cujo um dos principais objetivos foi a elaboração de estudos, a fim de desenvolver o transporte ferroviário. Em 1853, o Governo Português assinou uma concessão com a Companhia Central Peninsular dos Caminhos de Ferro de Portugal, para construir uma ligação ferroviária entre Lisboa e Espanha, através da cidade de Santarém. Mais tarde, o Estado Português desistiu da concessão e assumiu a construção da ferrovia. A Companhia Real dos Caminhos de Ferro Portugueses, hoje chamada de CP (Comboios de Portugal, foi fundada em 11 de Maio de 1860. Em 1877, auge da construção ferroviária, a Ponte Maria Pia é inaugurada. Em 1889, a rede de ferroviária tinha uma extensão estimada em 18.427 quilómetros. Note-se que, durante este tempo, o patrulhamento e a limpeza eram realizados por operários da Companhia.

³ Sistema de pavimentação constituído por uma mistura de terra compactada, pedra britada, saibro e betume ou outros ligantes.

⁴ Foi um dos principais políticos portugueses da segunda metade do século XIX, tendo sido o 1º ministro das Obras Públicas. Considerado o “homem do ferro” pois foi o principal impulsionador da rede ferroviária em Portugal.

Em 1892, devido ao rápido aumento de linhas ferroviárias e pontes, foi aprovada uma lei para criar o Conselho de Administração dos Caminhos de Ferro do Estado (Brigada de Revisão), responsáveis por inspeções e trabalhos de manutenção (como pequenas reparações e limpeza).

O período entre 1910 e 1933 foi marcado por uma época de instabilidade política e pela ascensão da indústria automóvel. Depois da revolução de 1910, a primeira República Portuguesa reconhecia a importância que devia ser dada a questões de segurança nas pontes e em 1912 o Estado declarava que era necessário criar uma comissão de especialistas universitários sobre para abordar o tema da segurança nas pontes.

Em 1927, a Junta Autónoma das Estradas (JAE) era criada com a finalidade de organizar e desenvolver a rede de estradas.

O período de entre 1933 e 1985 é marcado pela visão do eng. Duarte Pacheco⁵, no desenvolvimento da rede rodoviária. Em 1933, Duarte Pacheco, cria uma comissão para analisar propostas para a construção uma ponte rodo ferroviária entre Lisboa e a margem sul do rio Tejo, mas razões políticas e económicas fizeram que se inaugura-se só a 6 de Agosto de 1966, designada de Ponte Salazar (Ponte 25 de Abril).

Em 1948, é criada a Direção dos Serviços de Pontes com o tutela dos trabalhos de conservação das pontes, é claramente um primeiro sinal de que além da construção, era necessário assegurar uma manutenção das pontes em Portugal. Nesta altura a JAE tinha já quatro equipas responsáveis pelos respetivos trabalhos de manutenção e pequenas reparações.

Devido ao crescimento da rede de estradas e com a necessidade de reduzir o tempo de viagem entre as principais cidades do país, em 1972 era criada a Brisa - Auto-estradas de Portugal, SA (Brisa), foi criado para a construção, operação e manutenção da rede roviária. Três anos mais tarde a CP era nacionalizada.

No início da década de 1980, a JAE sofre uma reestruturação e acaba com a Direção dos Serviços de Pontes. Como principal consequência deste acontecimento, a maioria dos serviços de manutenção e conservação foram confiados a empresas do setor privado.

⁵ Engenheiro Civil formado no Instituto Superior Técnico em 1923, presidiu a respetiva instituição, o ministério da Obras Públicas e Comunicações, e a Câmara Municipal de Lisboa. Foi o grande impulsionador da expansão e conservação da rede rodoviária nacional.

O período entre 1985 e os dias actuais é marcado pela integração de Portugal na União Europeia e com a chegada de financiamento para a construção e desenvolvimento de novas estradas e infraestruturas. Em 1985, um ano antes da integração de Portugal na União Europeia, é elaborado o PNR 85. Em 1991, a Brisa completa a auto-estrada A1 entre Lisboa e Porto. Nesta altura já eram efetuados inventários (ver Anexo A) e inspeções (ver anexo B) em que descreviam detalhes estruturais sobre as pontes, além de que o inspetor destinava trabalhos de manutenção (neste caso limpeza do sistema de drenagem).

Na década de 90, a CP também passou por uma mudança da estratégia na gestão das pontes, ou seja, a reorganização das equipas de inspeção, com a redução do número de pessoas envolvidas nas atividades relacionadas, além da extinção de uma oficina em Ovar, que apoiava logisticamente as atividades de manutenção realizadas nas pontes por todo o país. A reorganização da CP levou à criação de quatro equipas responsáveis pela inspeção e manutenção das pontes localizadas exclusivamente no Porto, Guarda, Lisboa e Faro. Essas equipas foram responsáveis por inspeções de rotina anuais e estavam encarregadas de atividades básicas de manutenção, sem a tecnologia necessária à atividade.

Em 1997, a REFER foi criada como uma empresa de serviço, responsável gestão da nacional rede ferroviária em Portugal. Nesta altura, a CP torna-se exclusivamente num operador de serviço de transporte de passageiros.

Em 1998, um novo Plano Rodoviário Nacional - PRN 2000 - foi aprovado, sendo essencialmente uma otimização do PNR 85, além de que é inaugurada a Ponte Vasco da Gama. No mesmo ano, a JAE é dividida em três Institutos: Instituto das Estradas de Portugal (IEP), responsável para a regulação e supervisão do sector rodoviário nacional, Instituto para a Construção Rodoviária (ICOR), responsável pelas obras de construção de estradas, e Instituto para a Conservação e Exploração da Rede Rodoviária (ICERR), entidade responsável pelas obras de manutenção.

No entanto, no dia 4 de Março de 2001, a tragédia de Entre-os-Rios mostrou as deficiências na gestão das pontes realizada em Portugal. Em resposta, de Abril a Junho do mesmo ano, o ICERR lançou um programa de inspeções de emergência. Depois de 349 inspeções, três pontes foram fechadas e as restrições de limite de carga/velocidade foram aplicadas em cinquenta e seis pontes.

Em 2004, o ICOR, o ICERR e o IEP eram fundidas numa única agência, Estradas de Portugal, S.A. (EP), concessionária que tinha como objetivos: a conceção; o projeto; a construção; o financiamento; a conservação; a exploração; a requalificação e o alargamento das vias que integram a Rede Rodoviária Nacional.

Atualmente as três principais concessionárias portuguesas (Brisa, EP, e REFER) utilizam um sistema de gestão de obras de arte (GOA) como uma base de dados, contendo todas as informações relevantes das suas estruturas especiais e correntes, além de possuírem todos os relatórios de inspeções realizadas bem como os trabalhos de manutenção e de reparação recomendados.

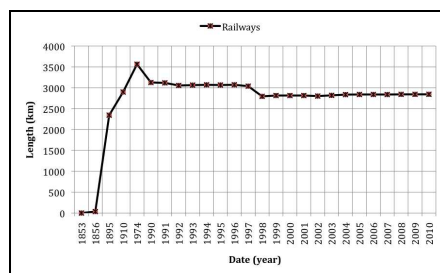


Figura 2-5 Desenvolvimento da rede ferroviária em Portugal (CP, 2006)

A figura 2-5 mostra um desenvolvimento exponencial da rede ferroviária desde 1853 até 1974, assistindo-se depois a um decréscimo até 1998, fruto do encerramento de algumas linhas ferroviárias, mantendo-se praticamente constante a extensão da malha rodoviária, derivado ao desinvestimento neste tipo de rede de transporte.

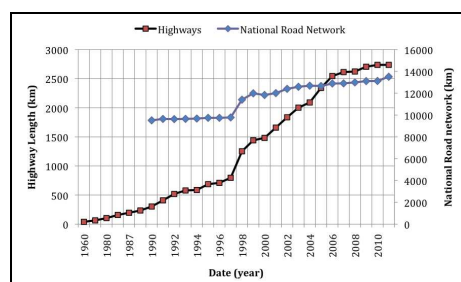


Figura 2-6 Desenvolvimento da rede rodoviária em Portugal (INE, 2010)

A figura 2-12 retrata o desenvolvimento da rede rodoviária verificado a partir de 1960, resultante da política de fomento das estradas e auto-estradas nacionais.

2.2.2. Contexto regional

A mobilidade na Ilha da Madeira foi sempre um problema, resultado da orografia muito acidentada.

Até finais do século XIX, os madeirenses utilizavam maioritariamente o transporte marítimo à volta da ilha e o transporte por tração animal. Não havia qualquer tipo de rede ferroviária, até 16 de Julho de 1893, data que marcou a inauguração do Caminho de Ferro, via ferroviária de sentido único que chegou a ter 3850 metros de extensão, ligando o Pombal até ao Terreiro da Luta, mas que acabou por ser encerrado em 1943 (Guerra, 2010).

O primeiro grande passo para a modernização da rede de estradas foi dado a 14 de Abril de 1936 com a criação do Decreto nº 28592, que tinha por objetivo estabelecer um plano de trabalhos para a execução complementar das estradas na Ilha da Madeira, estabelecendo diretrizes para conceber um “anel rodoviário” à volta da ilha (Silva, 1998).

Em Junho de 1953 com a inauguração do Túnel eng. Duarte Pacheco, com 395 m, que liga as localidades Arco de São Jorge e Boaventura, a ER101, com cerca de 200 Km, fecha o “anel rodoviário” à volta da Ilha da Madeira.

O grande acontecimento pelo qual possibilitou o maior desenvolvimento das pontes e viadutos na Madeira foi em 1989 com o início da construção da via rápida entre os concelhos da Ribeira Brava e Machico que levou à construção de 135 pontes e viadutos, estruturas essas que têm agora custos de exploração e de manutenção. De entre as obras de arte construídas, destaque-se a ponte dos Socorridos, com um vão principal de 106 metros e pilares que atingem os 120 metros de altura, bem como a ponte de João Gomes, com um vão principal de 125 metros e pilares com altura de 140 metros.

Como consequência desse acontecimento, houve a necessidade de regular-se as entidades que ficariam responsáveis pela gestão (i.e. exploração e manutenção) dessas novas obras de arte. Neste sentido e de acordo com o Dec. Lei nº21/1999 de 24 de Agosto, a Assembleia Legislativa Regional decretou a criação da concessionária Via Litoral⁶, estabelecendo as bases da concessão do troço entre a Ribeira Brava e Machico e mais tarde

⁶ VIALITORAL- Concessões Rodoviárias da Madeira, S.A. (Web site da Via Litoral)

estendendo as bases de concessão até ao Caniçal, de acordos com o Dec. Lei nº 4/2011 e o Dec. Lei nº 27/2001.

Com o desenvolvimento das vias de comunicação na Região Autónoma da Madeira nomeadamente com a criação de mais vias rápidas, a Assembleia Legislativa Regional decretou em 13 de Janeiro de 2004, a criação da concessionária Via Expresso⁷ adjudicando-lhes diversos troços de estradas regionais de acordo com o Dec. Lei nº 1/2004 de 13 de Janeiro.

Na figura seguinte (Fig.2-8) está ilustrado a disposição geográfica da respetiva rede rodoviária concessionada na R.A.M., composta por uma via rápida com 44,198 quilómetros de extensão fazendo a ligação entre o Caniçal e a Ribeira Brava concessionada à Via Litoral, e sete secções distribuídas pela ilha e outros troços associados constituídos pelos trechos antigos da ER 101⁸, perfazendo uma rede com 93,500 quilómetros de estrada concessionada à Via Expresso.



Figura 2-7 Rede rodoviária concessionada na RAM (adaptado de Via Litoral)

Em relação às duas redes rodoviárias concessionadas, cabe aos inspetores da Betar, inspecionar todas as obras de arte que fazem parte das concessões supracitadas. Em relação às restantes obras de arte existentes na RAM, cabe às respetivas entidades municipais a realização das tarefas de conservação, manutenção e inspeção.

2.3. Designações gerais

Uma ponte é uma estrutura que permite o atravessamento de uma via de comunicação sobre uma linha de água (i.e. um vale ou uma depressão de terreno com curso

⁷ Concessionária de estradas VIAEXPRESSO da Madeira, S.A. (Web site da Via Expresso)





⁸ Estrada Regional entre São Vicente e Porto Moniz

de água), enquanto um viaduto intercepta um vale seco ou uma linha de água de pequena importância, ou uma ou mais vias de comunicação (Reis, 2002).

As pontes, juntamente com os viadutos classificam-se como obras de arte, designação essa que tem vindo a ser aplicada ao longo do tempo às obras nas vias de comunicação. Uma obra de arte é definida então, como sendo uma estrutura constituída por vários elementos estruturais de acordo com as disposições de um projeto, que possui um vão superior ou igual a 2,0 m ou com desenvolvimento total superior a 5,0 m permitindo o estabelecimento de uma via de comunicação (Pedro, 2007).

Pode-se distinguir as obras de arte correntes das especiais. Nas especiais encontram-se as pontes, viadutos e túneis, enquanto nas obras de arte correntes, identifica-se passagens agrícolas, passagens hidráulicas, superiores, inferiores e de peões (Reis, 2002).

Na tabela 2-1 agrupa-se e identifica-se as principais OA tendo em consideração a hierarquização das vias intersectadas.

	Tipo de OA	Designação	Ilustração
CORRENTES	Passagem Agrícola	A via principal passa sobre a OA e a via intersectada é um caminho rural.	
	Passagem Hidráulica	A via principal passa sobre a OA e a via interceptada é um curso de água.	
	Passagem Superior	A via principal passa sob a OA.	
	Passagem Inferior	A via principal passa sobre a OA.	





	Passagem de Peões ou Passadiço	A via intersectada é usada apenas por tráfego pedonal.	
ESPECIAIS	Viaduto	A via principal passa sobre a OA, podendo existir mais do que uma via intersectada ou apenas um vale seco.	
	Ponte	A via principal passa sobre a obra de arte, não existindo via intersectada mas sim um curso de água. Saliente-se a existência de pontões que são pontes que possuem vãos geralmente compreendidos entre 2 e 5 m.	
	Túnel	A via principal passa sob a OA, não existindo nenhuma via sobre a OA.	

Tabela 2-1 Tipos de obras de arte (adaptado de Reis, 2002 e Betar)

Por razão de simplicidade, utilizar-se-á a designação genérica “ponte” para fazer referência a pontes propriamente ditas e a viadutos.

2.4. Componentes mais comuns

Uma ponte é constituída principalmente por duas partes, pela superestrutura e pela infraestrutura (Reis, 2002). A superestrutura é a parte da ponte que vence o vão, integra o tabuleiro que suporta o pavimento da via de comunicação, e no caso existirem, vigas primárias, vigas secundárias, arco superior/inferior, tirantes, cabos e pendurais. A infraestrutura é a parte responsável por transmitir ao solo as cargas introduzidas na superestrutura pelas ações permanentes, variáveis e acidentais. A infraestrutura integra os encontros, apoios intermédios (pilares) e fundações.

De realçar que as duas partes referidas anteriormente, devem de constituir um sistema estrutural estável e resistente, em que as alterações de geometria da superestrutura, devido às ações térmicas, de retração, de pré-esforço, de fluência e de assentamento de apoios, possam ser acomodadas em boas condições de funcionamento para a ponte.

Para efeito de simplificação e de registo, é necessário recorrer à divisão de uma ponte em vários componentes. No caso mais geral, uma obra divide-se em quinze componentes, em que cada componente pode ser dividido em vários elementos, são estes componentes que serão alvo de Inspeção e para os quais serão atribuídos trabalhos de manutenção e de reparação, com isto torna-se importante saber identificar os componentes e os respetivos elementos. Atendendo ao facto do estudo ser direcionado para pontes em betão armado, em seguida refere-se sucintamente os principais componentes de uma ponte:

- **Tabuleiro e apoios intermédios (pilares):** o tabuleiro é a componente solicitada por ações verticais (peso próprio, restantes cargas permanentes e sobrecargas) e horizontais (vento e sismo), enquanto os apoios intermédios são responsáveis por transmitir as cargas do tabuleiro para as fundações (Figura 2-8);



Figura 2-8 Tabuleiros e apoios intermédios da Ponte do Vigário

- **Encontro:** componente que estabelece a ligação entre a OA e a via de comunicação que lhe dá acesso por meio de um aterro. Tem como funções suportar as cargas verticais e horizontais transmitidas pela superestrutura, transmitindo-as ao solo de fundação e suportar os impulsos de terras transmitidas pelo solo adjacente (Figura 2-9);



Figura 2-9 Encontro oeste na Ponte dos Socorridos

- **Guarda corpos:** elementos que ladeiam os bordos do tabuleiro, normalmente colocados sobre a cornija. São elementos destinados à segurança dos peões. Podem

ser constituídos por diversos tipos de materiais, entre os quais destacam-se os de fibra de vidro (Figura 2-10 a) e os de aço (Figura 2-10 b);



a. Fibra de vidro, em viaduto do Comboio



b. Aço, em ponte do Vigário

Figura 2-10 Tipos de guarda corpos

- **Cornijas:** Componente também conhecida como viga de bordadura (Figura 2-11), São usadas para suportar os guarda corpos. Podem ser prefabricadas ou betonadas “in situ”;



Figura 2-11 Pormenor de cornijas na Ponte do Vigário

- **Guardas de segurança:** São elementos que podem-se encontrar como guarda central ou lateral do tabuleiro. Destinam-se à segurança dos veículos de modo a evitar que estes saiam da ponte. Por outro lado, é um elemento de sinalização, pois indica claramente o traçado da via. Os tipos mais comuns são os perfis metálicos tipo “W” visíveis no guarda lateral esquerdo da figura 2-12 e os guardas tipo “New-Jersey” visíveis no guarda central da mesma figura.



Figura 2-12 Guarda de segurança central e lateral do viaduto do Comboio

- **Aparelhos de apoio:** são dispositivos que asseguram a transmissão de cargas do tabuleiro para os apoios (pilares e encontros), permitindo eventuais movimentos relativos, podendo restringir deslocamentos excessivos. Dos vários tipos de aparelhos de apoio existentes, destacam-se os fixos tipo panela (Figura 2-13 a) e os de neoprene cintado (Figura 2-13 b). Saliente-se que a base do aparelho de apoio, executada em geral com betão armado designa-se de plinto ou banqueteta.



a. Tipo panela, em ponte João Gomes



b. Tipo neoprene, em ponte do Porto Novo

Figura 2-13 Alguns tipos de aparelhos de apoio

- **Juntas de dilatação:** têm como finalidade garantir a continuidade do pavimento. São dispositivos deformáveis que permitem assegurar a transição entre tabuleiro e encontros ou entre dois tabuleiros contíguos. Este componente está sujeito a grande desgaste e deve ser projetado para resistir às ações dinâmicas e abrasivas do trânsito, aos agentes atmosféricos e comportara os deslocamentos relativos devidos à retração e à fluência dos materiais. Nas pontes da Madeira, destacam-se as juntas de dilatação em módulos de neoprene armados (Figura 2-14 a) e as juntas de dilatação tipo pente metálico (Figura 2-14 b)



a. Módulos neoprene, em ponte João Gomes



b. Pente metálico, em ponte do Vigário




Figura 2-14 Alguns tipos de juntas de dilatação

2.5. Tipologia e sistemas estruturais

Uma questão fundamental nas inspeções de pontes é a identificação do tipo de estrutura em análise, possibilitando a elaboração de uma base de dados (Inventário) adequada. Como tal, pretende-se abordar de forma resumida as principais tipologias e sistemas estruturais que se pode identificar encontrar nas obras de arte.

As pontes podem ser classificadas mediante diversos critérios, entre os quais destacam-se:

- a) **Utilização:** consoante o tipo de tráfego utilizado, as pontes podem ser rodoviárias, ferroviárias, aeroviárias, pedonal (passadiço) ou canal
- b) **Material estrutural:** mediante a escolha do material estrutural utilizado, as pontes podem ser em: alvenaria, madeira, betão armado ou betão armado pré-esforçado ou metálicas
- c) **Sistema estrutural transversal:** das seções transversais existentes destacam-se as lajes maciça, vazada, vigada ou caixão
- d) **Sistema estrutural longitudinal:** uma das escolhas mais importantes para o projetista é a escolha do sistema estrutural longitudinal adotado, na tabela seguinte destaca-se os mais usuais.

Tipologia	Descrição	Ilustração
Pontes em viga	Simplemente apoiada	
	Viga Gerber	
	Viga contínua (em pórtico)	





Pontes de cabos	Suspensa	O peso do tabuleiro e das cargas são transmitidos aos cabos por múltiplos pendurais, geralmente verticais	
	Atirantada	Os elementos fundamentais da estrutura resistente são os tirantes, que proporcionam uma série de apoios intermédios, sendo necessárias torres (mastros) para elevar o apoio fixo dos tirantes	
Pontes em arco	Superior	O arco superior, sempre fortemente comprimido, é interiormente autoequilibrado pelo tabuleiro tracionado, que funciona como um tirante	
	Inferior	O arco encontra-se inferiormente ao tabuleiro, o arco funciona como elemento fundamental de suporte do tabuleiro	

Tabela 2-2 Tipologia de ponte segundo o sistema estrutural longitudinal (Reis, 2002)

2.6. Ciclo de vida

As pontes rodoviárias, assim como qualquer obra de engenharia, devem garantir condições de estabilidade e durabilidade, durante um período de vida previamente estabelecido, de modo a obter-se uma estrutura com segurança e bom desempenho.

Num ciclo de vida de uma ponte, pode-se distinguir seis fases fundamentais: conceção, estudos e análise, projeto de execução, construção, exploração/serviço e demolição. Saliente-se que desde a fase de conceção até a fase de construção, existe uma gestão mais preventiva, ou seja, as decisões adotadas nestas fases, influenciam fortemente o desempenho e o comportamento da estrutura após a sua construção (Ryall, 2000).

A fase de conceção é caracterizada por ser a fase onde é concebida a estrutura de acordo com as exigências técnicas e características estabelecidas, definindo-se assim os materiais e as soluções mais apropriadas. É com base na regulamentação em vigor que se

tem em especial atenção aspetos estruturais, nomeadamente recobrimentos mínimos, razão água/cimento, tipo de cimento, de modo a ser respeitado a durabilidade, característica essa que será referido com maior atenção no capítulo 3.

As fases de estudos e de projeto de execução são muito importantes pois a sua qualidade é fundamental para conseguir um bom desempenho estrutural ao longo da vida útil de uma ponte. É necessário haver planeamento entre estas fases com vista à prevenção de anomalias na estrutura, nomeadamente com a elaboração de modelos de simulação dos mecanismos de degradação, disposições construtivas, previsão da realização de inspeções e análise das condições ambientais, de modo a garantir-se qualidade na execução.

Na fase de construção, deve-se respeitar todas as disposições do projeto de execução, tendo em atenção a qualidade dos materiais e as normas de construção. Nesta fase, a fiscalização assume um papel fundamental no controlo da execução da obra, alertando para os problemas que vão surgindo e nas dúvidas que possam ocorrer na interpretação do projeto.

Na fase de exploração ou de serviço é necessário recorrer à utilização de um sistema de gestão de OA (desenvolvido no capítulo 4) de modo ser planeado inspeções periódicas e ações de manutenção e de reparação na estrutura.

A fase de demolição surge quando as estruturas deixam de desempenhar as funções para as quais foram projetadas.

Na figura 2.3 esquematiza-se num fluxograma as fases mais comuns num ciclo de vida de uma ponte.

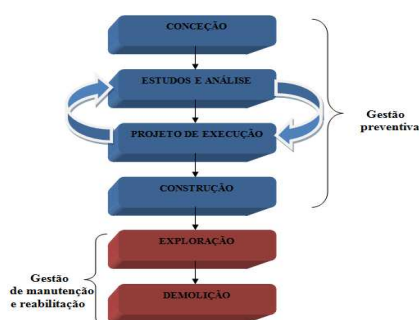


Figura 2-15 Fluxograma do ciclo de vida de uma ponte (adaptado de Ryall, 2000).

3. ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE BETÃO ARMADO

“...o betão e o betão armado marcam a sua presença no século XX. Mas até quando? Infelizmente tudo leva a crer que a sua duração será efémera. A elevada alcalinidade, e a elevada energia interna resultante, torna-o num material instável.” (Coutinho, 2006)

As pontes e os viadutos estão sujeitos à ação de diversos fenómenos que podem dar origem a várias anomalias. A anomalia também pode ser designada por “patologia”, este último termo refere-se a parte da medicina que estuda as origens, sintomas e natureza das doenças. Quando aplicado à engenharia civil este termo designa os fenómenos e mecanismos de deterioração do material, afectando o comportamento de uma construção, motivo pelo qual, para diferenciá-la das outras ciências, será utilizado o termo anomalia (DNIT, 2010).

A deteção e controle das anomalias são determinantes nos procedimentos de inspeção. Neste sentido é fundamental identificar-se as anomalias associadas aos diversos componentes de uma ponte bem como conhecer-se os processos e mecanismos de deterioração do betão armado.

3.1. Betão armado enquanto material de construção

Atualmente o betão armado é um dos materiais de construção mais utilizados em todo o mundo, isto apesar de apresentar uma degradação precoce em relação aos outros materiais de construção, devido ao facto de depender da qualidade dos seus constituintes, da mão-de-obra, das condições ambientais a que está exposto, entre outros. Em contrapartida é um material muito apreciado pela sua versatilidade, adaptando-se aos mais diversos requisitos, mantendo uma competitividade em termos económicos, tornando o custo do betão armado muito competitivo face ao custo do aço (Lourenço & Mendes, 2009).

A interação do elemento estrutural betão armado reside numa simbiose entre o betão e o aço, ou seja, pelo facto do betão resistir bem à compressão e em contrapartida possuir uma fraca resistência à tração, é o aço que sob a forma de varões colocados no seu interior, que anula essa fraqueza permitindo ao elemento resistir aos esforços internos. O aço apesar

de desempenhar as suas funções resistentes, exposto aos agentes erosivos, sofre deterioração, pelo que beneficia da relação simbiótica que possui com o betão pois este envolve-o e protege-o com a sua alcalinidade (Cóias, 2006).

A utilização do betão armado pode ser problemática, nomeadamente, se a agressividade do meio ambiente provocar corrosão nas armaduras ao fim de algum tempo. Um dos principais problemas deste material é a possibilidade de fissura, permitindo a penetração da água, provocando a oxidação das armaduras que ao aumentarem de volume, promovem tensões de tração no betão, originando aberturas, este processo agrava se não for corrigido, até que o betão superficial delamina. Pelo exposto, é fundamental reconhecer-se que a utilização do betão enquanto material de construção, apresenta vantagens e desvantagens (Cóias, 2006).

As principais vantagens do uso do betão armado como material de construção são:

- Boa trabalhabilidade (fácil adaptabilidade em termos geométricos);
- Disponibilidade de matéria-prima;
- Diversidade nas aplicações;
- Resistência ao fogo, incombustibilidade;
- Economia em relação a outros materiais;
- Durabilidade;
- Rigidez;
- Boa resistência às ações mecânicas (esforços de tração/compressão).

As principais desvantagens são:

- Baixo isolamento térmico;
- Elevado peso próprio ($\approx 2500 \text{ kg/m}^3$);
- Impacte ambiental significativo (exploração de pedreiras e produção de RCD⁹)
- Baixo índice de resistência por unidade de volume, implicando estruturas de maiores dimensões.

3.2. Durabilidade

As anomalias podem surgir à custa da deterioração ou de um processo de envelhecimento de uma estrutura de betão armado, ou seja, em alterações das suas

⁹ Resíduos de construção e demolição

propriedades (mecânicas, físicas e químicas) e em particular na agressividade do meio ambiente. Antes de perceber-se os mecanismos de deterioração do material, surge a necessidade de perceber os conceitos relativos à durabilidade. A não consideração desta característica, na fase de projeto, resulta num aumento do custo da conservação ao longo da vida útil da obra, sendo fundamental seleccionar medidas de proteção que controlem ou evitem os mecanismos de deterioração precoces (CEB, 1992).

A durabilidade pode ser definida então como a aptidão de uma estrutura para desempenhar as funções (i.e. requisitos funcionais nomeadamente, desempenho, segurança, resistência e funcionalidade) para que havia sido concebida durante o período previsto, sem que para tal seja necessário despendar custos de manutenção e reparação não esperados ou elevados (CEN, 2004).

3.2.1. Enquadramento normativo e especificações gerais

Os aspectos relacionados com a durabilidade nos primeiros regulamentos nacionais, não foram praticamente objecto de atenção. As preocupações com a durabilidade apenas surgiram no Regulamento das Estruturas de Betão e Pré- Esforçado (REBAP, 1983) e no Regulamento de Betões de Ligantes Hidráulicos (RBLH, 1971), actualmente substituído pela norma portuguesa NP EN 206, de 1993 (Branco & Brito, 2004).

Importa referir as normas e especificações relativas à durabilidade, não sendo pretensão deste trabalho abordar exaustivamente cada norma, assim sendo, as normas que aborda a durabilidade nas estruturas de betão armado são (Salta, 2013):

- **NP EN 1992-1-1**

Esta norma também conhecida por Eurocódigo 2, trata dos princípios e regras de projeto de estruturas de betão bem como dos requisitos tendo em atenção a vida útil de projeto, plano de manutenção e as ações. No capítulo 4 do respetivo Eurocódigo, podemos encontrar metodologias relativamente à durabilidade e recobrimentos de armaduras, nomeadamente a qualidade e a densidade do recobrimento, determinada pela máxima razão água/cimento e mínimo teor de cimento, relacionando com a classe mínima de resistência do betão.

Esta norma estabelece a importância da definição correta das classes de exposição ambiental e suas potenciais combinações nos elementos da estrutura. Na tabela seguinte observa-se as cinco classes de exposição ambiental com as suas respetivas designações.

Exposição	Classe de exposição	Descrição do ambiente
Sem risco de corrosão	X0	Para betão simples: todos os ambientes exceto os com gelo, abrasão ou ataque químico. Para betão armado: ambiente muito seco
Corrosão induzida por carbonatação	XC1	Seco ou permanente molhado
	XC2	Húmido (raramente seco)
	XC3	Com humidade moderada
	XC4	Com ciclos de molhagem e secagem
Corrosão induzida por cloretos (não do mar)	XD1	Com humidade moderada
	XD2	Húmido (raramente seco)
	XD3	Com ciclos de molhagem e secagem
Corrosão induzida por cloretos provenientes da água do mar	XS1	Zonas costeiras marítimas
	XS2	Zonas submersas
	XS3	Zonas de maré (com ciclos molhagem/secagem)
Ataque gelo-degelo	XF1	Saturação moderada, sem agentes descongelantes
	XF2	Saturação moderada, com agentes descongelantes
	XF3	Saturação elevada, sem agentes descongelantes
	XF4	Saturação elevada, com agentes descongelantes
Ataque químico	XA1	Ligeiramente agressivo
	XA2	Moderadamente agressivo
	XA3	Muito agressivo

Tabela 3-1 Classe de exposição ambiental (reproduzido de CEN,2002)

- **NP EN 206-1**

Trata dos requisitos e especificações do betão moldado *in situ* e dos produtos de betão pré fabricados. Nesta norma é efetuada a classificação do betão segundo a sua especificação, nomeadamente na classe de resistência à compressão, na classe de exposição, na máxima dimensão do agregado, na classe de consistência e na classe de teor de cloretos

- **NP EN 13670**

Esta norma refere os requisitos de execução de estruturas de betão projetadas, de forma a que estas atinjam o nível pretendido de segurança e de utilização durante a sua vida útil..

- **LNEC E461**

Especificação nacional complementar que trata a forma de prevenir as reações expansivas internas no betão.

- **LNEC E464**

Especificação nacional complementar muito importante, na medida em que fixa as medidas prescritivas da vida útil de projeto de 50 ou 100 anos nas diversas classes de exposição. Estabelece especificações para o recobrimento nominal mínimo das armaduras consoante a classe de exposição (Tabela 3-2).

Para assegurar a durabilidade das estruturas também são impostos limites consoante o ambiente envolvente a que a estrutura vai ficar sujeita, nomeadamente limites da composição e da classe de resistência do betão sob ação do dióxido de carbono e cloretos para uma vida útil de 50 anos (Tabela 3-2).

Tipo de cimento	CEM I (referência) e CEM II/A				CEM II/B; CEM III/A; CEM IV e CEM V/A			
Classe de exposição	XC1	XC2	XC3	XC4	XC1	XC2	XC3	XC4
Mínimo recobrimento nominal (mm)	25	35	35	40	25	35	35	40
Máxima razão água/cimento	0,65	0,65	0,60	0,60	0,65	0,65	0,55	0,55
Mínima dosagem de cimento-C (kg/m3)	240	240	280	280	260	260	300	300
Mínima classe de resistência	C25/30	C25/30	C30/37	C30/37	C25/30	C25/30	C30/37	C30/37
Tipo de cimento	CEM V/A (ref); CEM IV/B; CEM II e CEM III				CEM I e CEM II/A			
Classe de exposição	XS1 e XD1	XS2 e XD2	XS3 e XD3		XS1 e XD1	XS2 e XD1	XS3 e XD3	
Mínimo recobrimento nominal (mm)	45	50	55		45	50	55	
Máxima razão água/cimento	0,55	0,55	0,45		0,45	0,45	0,40	
Mínima dosagem de cimento (kg/m3)	320	320	340		360	360	380	
Mínima classe de resistência	C30/37	C30/37	C35/45		C40/45	C40/45	C50/60	

Tabela 3-2 Reprodução dos quadros 6 e 7 da especificação LNEC E464

Saliente-se que também são recomendados limites para a composição e para a classe de resistência do betão sob ação do gelo/degele e ataques químicos, nomeadamente através

dos quadros 8 e 9 da especificação LNEC E464, mas não serão referidos neste trabalho porque considero que as obras de arte existentes na região não estão expostas a esse tipo de ambiente.

Comentado [RJ2]: Faz sentido esta consideração?

Relativamente para uma vida de 100 anos, de modo a assegurar a durabilidade das estruturas, nomeadamente limites da composição e da classe de resistência do betão sob ação do dióxido de carbono e cloretos, nas classes de exposição XC, XD e XS, o recobrimento nominal é aumentado de 10 mm e para as classes XF e XA, a razão água/cimento é diminuída de 0,005, a mínima dosagem de cimento é aumentada de 20 kg/m³ e a classe de resistência é aumentada de duas classes.

- **LNEC E465**

Especificação nacional complementar que aborda uma metodologia para estimar as propriedades de desempenho que permitem satisfazer a vida útil de projeto de estruturas de betão armado ou pré-esforçado sob as exposições ambientais XC e XS

3.2.2. Tempo de vida útil

Não é possível falar de durabilidade sem referir o conceito de vida útil. A vida útil de uma estrutura é uma característica utilizada para o cálculo do projeto e corresponde ao período de tempo em que propriedades do material ficam acima dos valores considerados como aceitáveis, mantendo os respetivos requisitos funcionais (CEN, 2002).

Para a definição da vida útil, podemos seguir duas metodologias, o Eurocódigo e a especificação do LNEC E465. O Eurocódigo sugere que o tempo de vida útil corresponde ao período de iniciação (fase em que não há sinais visíveis de deterioração) mais o período de propagação (i.e. fase em que ocorre os estados limites de: despassivação das armaduras; fendilhação; delaminação e rotura, ou seja corresponde ao desenvolvimento visível da deterioração) (Figura 3-1 a). Enquanto, que na especificação LNEC E465 é estabelecido apenas o estado limite de utilização, ou seja, o período de propagação é definido desde a despassivação das armaduras até ao início da fendilhação) e juntamente com o período de iniciação, representam o tempo de vida útil mais restrito (Figura 3-1 b).

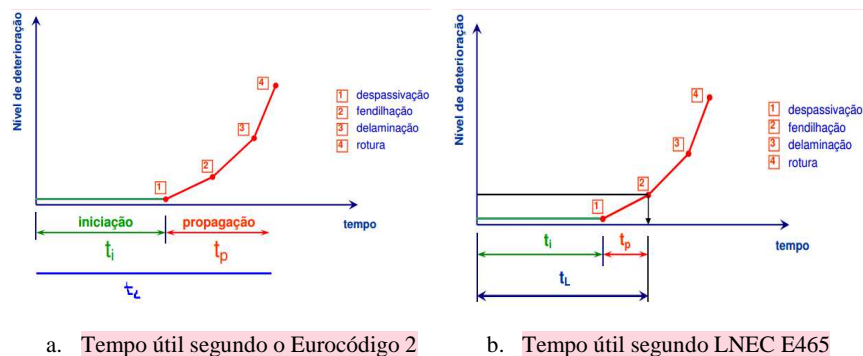


Figura 3-1 Definição do tempo útil (adaptado de Costa, 2006)

Comentado [RJ3]: Não estou seguro com esta informação, porque só conhecia a informação do LNEC E465.

Saliente-se que a importância de desenvolver ações de inspeção mesmo não existindo sinais de deterioração visíveis de modo a desenvolver operações de manutenção antes que os mecanismos de deterioração se desenvolvam, isto porque os custos de reparação de uma estrutura que se apresente na fase de propagação são sempre mais elevados.

Para o caso em estudo, as obras de arte são classificadas com categoria 5 (i.e. estruturas de edifícios monumentais, pontes e outras estruturas) e o valor indicativo do tempo de vida útil de projeto são 100 anos (Tabela 3-3).

Categoria do tempo de vida útil de projeto	Valor indicativo do tempo de vida útil de projeto (anos)	Tipo de Estrutura
1	10	Estruturas provisórias
2	10 a 25	Componentes estruturais substituíveis
3	15 a 30	Estruturas agrícolas e semelhantes
4	50	Estruturas de edifícios e outras estruturas correntes
5	100	Estruturas de edifícios monumentais, pontes e outras estrutura

Tabela 3-3 Valores indicativos do tempo de vida útil de projeto (CEN, 2002)

Importa também identificar a vida residual de uma estrutura, que corresponde ao período de tempo em que o desempenho da estrutura torna-se inaceitável, sendo necessário efetuar-se reparações, estabelecendo uma nova vida útil às estruturas, garantindo as condições mínimas segurança e funcionalidade (CEB, 1992). Na figura 3-2, podemos ver a relação entre as características supracitadas, com o passar do tempo, o desempenho (requisitos funcionais) decresce até um valor que é considerado como mínimo aceitável,

nessa altura, efetuando as reparações necessárias, ocorre um incremento no desempenho das estruturas, voltando a decrescer com o passar do tempo.

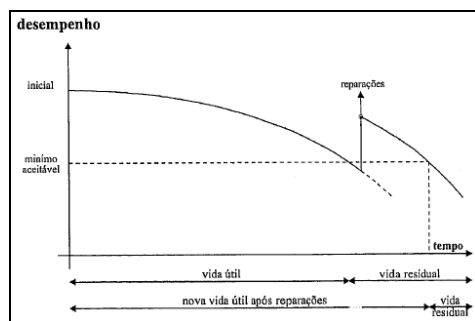


Figura 3-2 Vida útil e vida residual de uma estrutura de betão armado (CEB, 1992)

3.2.3. Requisitos de durabilidade

Para atingir-se o tempo de vida útil de projeto especificado para a estrutura, devem-se considerar os requisitos que influenciam a durabilidade de uma estrutura de betão armado, e esses factores são os seguintes (CEN, 2004):

- Conceção estrutural (forma estrutural, geometria e robustez);
- Seleção dos materiais (composição do betão, razão água/cimento, dosagem de cimento, tipo de cimento);
- Pormenorização (recobrimento das armaduras, pormenorização das armaduras, drenagem);
- Execução (colocação, compactação e cura do betão);
- Controlo da qualidade (verificação das propriedades específicas para os materiais e processos construtivos)
- Inspeção (plano de observação da estrutura);
- Condições ambientais;
- Verificações (recobrimento das armaduras).

Destaca-se em particular as condições ambientais e o método de verificação recobrimento das armaduras.

As condições ambientais que as estruturas estão sujeitas, é um factor fundamental em termos de durabilidade, pois são condições químicas e físicas, que podem levar à deterioração do betão e à corrosão das armaduras (Coutinho M. S., 1998).

O recobrimento das armaduras é a distância entre a armadura e a superfície do betão, e pode-se diferenciar em dois tipos, o nominal e o mínimo. O recobrimento nominal corresponde à soma do recobrimento mínimo mais uma margem de cálculo para as tolerâncias de execução. O recobrimento mínimo deve assegurar a proteção das armaduras contra a corrosão, a transmissão eficaz das forças de aderência e assegurar uma resistência ao fogo (CEN, 2004).

3.2.4. Projeto de durabilidade

Actualmente, começa-se a compreender que a durabilidade é parte essencial na qualidade e desempenho das estruturas, e que o custo total não é só o custo de construção mas também é o de manutenção e o de reparação.

A exigência de um projecto que incorpore a durabilidade da estrutura nasceu do crescente interesse expresso pelos donos-de-obra em colocar exigências para a vida útil de serviço da estrutura.

Surge então a necessidade da realização de um projeto de durabilidade. Todos os elementos do projeto, nomeadamente topográficos, geológicos, entre outros, devem ser do conhecimento do projetista. Seria desejável que nesta fase, que fossem devidamente considerados os diferentes aspectos que condicionam a análise de custos ao longo do ciclo de vida útil, nomeadamente: custo do projecto; custo de construção; custo de conservação; custo de reabilitação; custo de utilização; entre outros (Salta, 2013).

Os principais procedimentos a efetuar num projeto de durabilidade são (Coutinho M. S., 1998):

- Especificação da vida útil;
- Identificação das condições ambientais;
- Definição dos mecanismos de deterioração e dos modelos de simulação;
- Definição dos materiais e dos parâmetros de durabilidade, neste procedimento deve ser efetuado recomendações para garantir maior durabilidade às estruturas em questão (3.2.4.)
- Execução de mapa de deformações, as pontes devem ser dimensionadas para minimizar danos devido a deformações excessivas, fadiga e ações acidentais (CEN, 2004).
- Propor um plano de monitorização e identificação de elementos críticos, dos quais devem ser dado um acompanhamento especial nas atividades de Inspeção.

3.2.5. Recomendações para estruturas mais duráveis

Em fase de projeto de uma estrutura de betão armado, para além de considerar-se o seu dimensionamento em função das cargas a que estará sujeito, é necessário definir o ambiente a que a estrutura está exposta. Definido o ambiente de exposição e conhecido os mecanismos e os agentes de deterioração, é apresentado em seguida um conjunto de recomendações, para assegurar uma maior durabilidade às estruturas de betão (Coutinho M. S., 1998), (DNIT, 2010).

• Permeabilidade

A permeabilidade é a maior ou menor facilidade com que o material se deixa atravessar por gases e líquidos, no betão é um sistema de poros responsável pelo mecanismo de transporte. Para dificultar este mecanismo e tornar o betão num material mais impermeável, é necessário considerar a razão água/cimento, condições de aplicação, compactação e proteção adicional (e.g. pintura betuminosa e aplicação de outros materiais impermeabilizantes) de modo a impedir o ingresso de líquidos ou gases agressivos ao betão de recobrimento (Mills, 1987). Saliente-se que esta característica influencia as restantes recomendações, visto que o que se pretende em todas as recomendações é reduzir a permeabilidade do betão aos agentes agressivos, evitando processos de deterioração.

• Relação água/ligante

Em relação à quantidade de água cimento, a permeabilidade aumenta a partir de uma razão de 0,6, em virtude da proliferação de poros formados pelo excesso de água (CEB, 1992). Na figura seguinte, relaciona-se a permeabilidade da água com várias relações água/cimento.

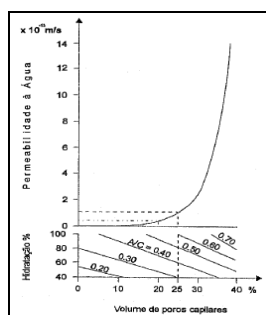


Figura 3-3 Influência da razão água/cimento na permeabilidade (CEB, 1992)

Para obter-se uma permeabilidade baixa, é necessário que o projetista tenha em consideração pormenores fáceis de executar, nomeadamente com espaços suficientes para a introdução do betão fresco e das agulhas de vibração, garantindo deste modo o preenchimento e a vibração do betão entre as armaduras. Em relação à colocação, deve ser garantido uma boa fixação das armaduras para evitar o deslocamento das mesmas (Coutinho M. S., 1998).

• Cura e proteção

Curar e proteger um betão significa, logo após a colocação e a compactação, criar as condições necessárias para que as reações ocorram de modo a minimizar a retração plástica do betão, impedindo a formação de uma camada superficial porosa e permeável. Deve ser evitado uma secagem rápida evitando deste modo uma grande diferença de temperatura, nomeadamente humedecendo a base e as cofragens, montando lonas/lençóis e pára-ventos. Pode ser usado também cimento com adições ou certos adjuvantes, para que a taxa de evaporação seja inferior à taxa de exsudação (Coutinho M. S., 1998)

• Dosagem do ligante

A capacidade de fixação do dióxido de carbono e cloreto pela pasta de cimento, aumenta com o aumento da dosagem de cimento. É importante que a dosagem de cimento garanta uma boa trabalhabilidade e uma baixa permeabilidade. Em termos gerais, uma dosagem de 300 kg/m^3 de betão é suficiente para obter uma permeabilidade suficientemente baixa, mantendo a relação água/cimento abaixo dos 0,6 (Coutinho M. S., 1998)

• Inertes, tipo e granulometria

De um modo geral, não devem ser usados inertes com sílica ou inertes com sulfuretos ou sulfatos (gesso), inertes com minerais argilosos ou óxidos de ferro nem inertes como os calcários (Coutinho M. S., 1998). Em relação à granulometria, esta deve conduzir a uma mistura mais compacta possível (CEB, 1992).

• Proteção adicional

Em situações de elevada agressividade do meio, pode ser necessário recorrer-se à proteção adicional, permitindo controlar os processos de corrosão das armaduras e os processos de deterioração do betão.

No caso do betão, pode ser utilizado um revestimento delgado (espessura até 1 mm) que funcione por impregação hidrófuba com revestimento nos poros, como por exemplo silicone e resinas epoxídicas (Appleton, 1997).

No caso do aço, as armaduras podem ser protegidas indiretamente através do tratamento do betão que as envolve por introdução de inibidores de corrosão durante a produção de betão ou por impregnação posterior, utilizando igualmente revestimentos de proteção às superfícies do betão (Salta e Fontinha, 1996). A nível das armaduras pode ser utilizado aços com maior resistência aos meios agressivos como por exemplo o aço inoxidável (Coutinho M. S., 1998).

• Utilização de betões de elevado desempenho

Para melhorar o desempenho dos betões têm sido desenvolvidas inúmeras composições que garantem um bom desempenho estrutural ao longo da vida útil da obra. Em geral estas composições baseiam-se na adição de produtos que dão origem a compostos de grande estabilidade e com propriedades aglomerantes, tornando a micro-estrutura bastante mais densa e resultando assim, num aumento significativo da resistência e durabilidade.

Em suma, deve adotar-se procedimentos e intervenções que possibilite adequadas condições de durabilidade das estruturas, para que estas desempenhem as funções para as quais foram projetadas, sem que sejam necessários gastos relativamente elevados de manutenção.

3.3. Deterioração em estruturas de betão armado

Geralmente a maioria das anomalias manifestam-se externamente e de forma diferente em função da causa que lhes deu origem, permitindo a identificação da natureza da anomalia tendo como objetivo avaliar corretamente os fenómenos envolvidos no processo de deterioração.

Alguma bibliografia da especialidade faz uma distinção entre anomalias estruturais e anomalias não estruturais. As anomalias não estruturais manifestam-se através da degradação da aparência da estrutura, não colocam em risco a segurança estrutural, este tipo de anomalia manifesta-se por exemplo pela existência de: vegetação, escorrimentos,

manchas, eflorescências e humidades. As anomalias estruturais já são mais gravosas porque comprometem o nível de segurança estrutural, pois traduzem-se normalmente pelo aparecimento de fissuras significativas ou deformações severas (DNIT, 2010).

Sendo assim surgem diferentes **sintomas** de deterioração, ou seja, sinais visíveis nas superfícies de betão, que ao evoluírem provocam uma maior degradação nas obras de arte. Neste sentido é fundamental identificar os principais sintomas de deterioração (Tabela 3-1) bem como avaliar as causas que lhe deram origem, de modo a prever-se a sua evolução e sugerir-se métodos de reabilitação (Costa, 2008).

Sintoma	Descrição	Ilustração
Fendilhação	Aberturas estreitas na superfície de betão	
Delaminação	Descasque de betão, fragmento que se solta da massa do betão	
Corrosão	Reacção existente entre o oxigénio do ar, a humidade e o metal	
Desagregação	Desintegração sucessiva das camadas superficiais do betão	
Erosão	Perda da pasta de cimento de ligação dos agregados	
Infiltração	Percolação de água por vazios no betão, ou por juntas de betonagem mal executadas	
Eflorescência	Deposição à superfície de sais dissolvidos pela percolação de água no interior do betão	

Comentado [RJ4]: No meu entender faz sentido utilizar este termo apesar de parecer termo “médico”, não queria utilizar o termo “anomalia” porque queria destacar os sinais visíveis. A minha fonte também utiliza o termo sintoma.

Principais sintomas da deterioração das estruturas de betão

- Fendilhação
- Delaminação
- Corrosão
- Desagregação do betão
- Erosão
- Infiltrações
- Eflorescências
- Deformações



Reabilitação e Reforço de Estruturas
Diploma de Formação Avançada em Engenharia de Estruturas


Deformação	Podem resultar em flechas excessivas, deslocamentos longitudinais ou transversais não previstos, movimentos anormais nos apoios, vibrações excessivas, entre outros.	
------------	--	--

Tabela 3-4 Principais sintomas de deterioração nas estruturas de betão (adaptado de Costa, 2008)

Nos subcapítulos seguintes serão referidas as causas e os agentes responsáveis pelo aparecimento dos sintomas supracitados.

3.3.1. Agentes e mecanismos de deterioração do betão

São as consequências resultantes da interação entre o betão e o ambiente, uma das causas responsáveis pelo processo de deterioração.

Os agentes e os mecanismos de deterioração do betão estão relacionados com o meio envolvente em que está inserida a estrutura e com as propriedades dos seus materiais constituintes. Pode-se ainda identificar a natureza das causas que visam o deterioramento do betão. Neste sentido, os mecanismos de deterioração podem ser causados por ações agressivas de origem: biológica, física, mecânica e química (DNIT, 2010), (Coutinho M. S., 1998)

A origem biológica reflete-se na presença de microrganismos que causam degradação do betão através da acidificação da água, nomeadamente em estruturas que estejam em contacto com águas poluídas ou com diversas espécies de bactérias, fungos ou algas que oxidam o enxofre causando erosão na pasta de cimento. A presença de vegetação (e.g. líquenes, raízes e musgos) em orifícios ou em fendas exercem forças expansivas no próprio betão.

Os mecanismos de deterioração do betão por causas físicas estão relacionados principalmente com alterações térmicas, solicitações excessivas, mas sobretudo com fenómenos de retração e fissuração.

Os mecanismos de deterioração do betão por processos mecânicos surgem quando a tensão de tração instalada no betão excede a sua resistência, originando fendilhação no betão. Outras causas como variações de temperatura e de sobrecarga, são causas (externas) que podem conduzir a tensões de tração localizadas ou generalizadas, que sendo superiores às tensões de resistência, vão surtir no mesmo efeito, fendilhação (Coutinho M. S., 1998).

Os mecanismos de deterioração do betão por causas químicas estão relacionados principalmente com falhas humanas ocorridas na fase de projeto (e.g. avaliação otimista do meio envolvente), na fase de construção (e.g. deficiente vibração e insuficiente tempo de cura) e na fase de exploração (e.g. falta de manutenção). Estas falhas fazem com que o betão se torne mais poroso, permeável e consequentemente suscetível a ocorrência de anomalias.

Após o referido, descreve-se os principais mecanismos e agentes responsáveis pela deterioração do betão (DNIT, 2010):

a) Efeito térmico (tensões térmicas)

A temperatura é considerada como sendo uma ação agressiva associada ao meio ambiente, sendo que um elemento estrutural de betão armado sujeito a variações de temperatura significativas, sofre variações do seu volume, podendo originar fissuração.

Esses efeitos são desprezáveis se o elemento puder deformar-se livremente (importância das juntas de dilatação). As tensões internas resultante de efeito térmico, podem provocar deformações por flexão, em elementos com pouca espessura. Essas tensões internas causadas por variações diferenciais de temperatura, podem introduzir tensões de tração, provocando níveis de fendilhação importantes, sendo muitas vezes responsáveis pelo destacamento da camada superficial de revestimento do próprio elemento.

b) Ciclos de gelo e degelo

Este mecanismo de deterioração é observado em estruturas submetidas a ciclos de temperaturas que provoquem a congelação e descongelação, principalmente em superfícies horizontais expostas à água, ou em superfícies verticais de elementos submersos

O betão enquanto material de construção apresenta uma estrutura porosa na medida em que internamente apresenta espaços vazios. Se a temperatura do material poroso descer até ao ponto de congelação da água contida na sua rede de poros, podem-se observar danos associados à formação de gelo.

A passagem da água do estado líquido ao estado sólido provoca um aumento de volume, resultando numa degradação do material, nomeadamente um aumento nas tensões de tração que conduzem à fendilhação e delaminação da zona superficial do betão.

Para ocorrer deterioração significativa é necessário que os poros do betão estejam saturados e que haja ocorrências repetitivas de ciclos gelo/degelo.

c) Fogo

O mecanismo de deterioração provocado pelo fogo nas Obras de Arte é raro, mas quando surge provoca alguns danos nos materiais estruturais e nos seus elementos, visto que o aquecimento do betão vai provocar uma desidratação da pasta de cimento, originando uma redução da resistência mecânica à compressão e um aumento da deformabilidade.

Apesar das vantagens do betão sob o ponto de vista da resistência ao fogo (isolante térmico e incombustível), o betão quando submetido a elevadas temperaturas, perde humidade sobre a forma de vapor de água, originando fissuras, provocando perda de resistência e rigidez dos elementos estruturais, levando a deformações permanentes elevadas. Note-se ainda que poderá levar à delaminação do betão da zona superficial (devido à pressão causada pela libertação do vapor de água), fendilhação, encurvadura dos varões e em último caso, colapso da estrutura em último caso.

d) Ataque de sulfatos

O ataque de sulfatos é uma reação química que pode ocorrer no interior do betão. Os sulfatos surgem normalmente no solo (em solução com adubos ou em solução com águas subterrâneas) e no mar.

Os sulfatos mais frequentes são os de sódio, potássio, cálcio, magnésio e de amónio, e os componentes da pasta de cimento suscetíveis de serem atacados são os aluminatos de cálcio hidratado e o hidróxido de cálcio. Estes sulfatos podem reagir entre si provocando a expansão do betão, e posteriormente fendilhação. Outra forma de deterioração devido ao ataque de sulfatos é na perda de resistência do betão e consequente desagregação.

e) Ataque de cloretos

A presença de cloretos no betão surge normalmente da água do mar, de alguns aceleradores de presa, ambientes ricos em cloro como é o caso das piscinas ou até em agregados retirados do mar e que não foram lavados corretamente.

O cloro tem um efeito muito prejudicial quando está em contacto com estruturas de betão armado, pois possuem iões cloreto que têm a capacidade de romperem a camada de

óxido que protege as armaduras, nomeadamente a película de passivação, dando origem a fenómenos de corrosão das próprias armaduras.

f) Ataque por meio ácido

A água pode ter um pH mais ácido devido à presença de poluentes industriais, nomeadamente dióxido de carbono ou ácidos orgânicos ou inorgânicos. Estes ácidos tornam o ambiente mais agressivo, atacam o betão, dando origem a degradação e a remoção da pasta cimentícia.

g) Ataque pela água do mar

O ambiente marítimo constitui uma exposição com elevada agressividade para as estruturas de betão armado, esta agressividade devida principalmente à grande quantidade de sais dissolvidos do mar que originam múltiplos mecanismos de deterioração, sendo que o principal mecanismo de deterioração que afeta as estruturas expostas a este tipo de ambiente é a corrosão das armaduras provocadas pelos cloretos. Uma penetração de cloretos conduz à despassivação das armaduras desenvolvendo assim um mecanismo da corrosão do aço com elevada velocidade. O resultado deste mecanismo traduz-se na perda de seção das armaduras, fendilhação e delaminação do betão de recobrimento. As consequências deste mecanismo traduzem-se na perda da capacidade resistente dos elementos estruturais, conduzindo em última instância à rotura.

h) Carbonatação

A carbonatação do betão é causada devido a uma reação química que ocorre entre os gases poluentes da atmosfera (e.g. dióxido de carbono) e os produtos da hidratação do cimento, isto na presença de humidade.

Este fenómeno, corresponde à transformação da portlandite em calcite, sendo acompanhada de uma reduzida variação do volume e de uma diminuição do pH do betão. Saliente-se que em betões de boa qualidade o processo de carbonatação é lento.

O seu desenvolvimento depende: do teor de humidade existente na estrutura, da humidade relativa ambiental, da concentração de dióxido de carbono no ar, do tipo de cimento e da razão água /ligante do betão.

i) Reação álcalis-agregados (reações internas e expansivas)

- Reação álcalis-sílica

A reação álcalis-sílica é uma reação química interna do betão que dá-se entre os álcalis do cimento e a sílica de certos agregados. A deterioração do betão provocada por esta reação deve-se à influência de diferentes fatores, tais como: a presença de sílica reativa nos agregados, um teor elevado de álcalis na solução intersticial do betão, e à existência de um ambiente húmido.

Esta reação pode originar expansões internas do betão e originando fendilhação. As estruturas que são afetadas por este tipo de reação apresentando um “mapa” de fendilhações à superfície. Para não confundir-se a fissuração causada pela reação álcalis-sílica com as originadas pela retração ou outro tipo de mecanismo, é necessário efetuar-se uma análise microscópica.

- Reação sulfática interna

A reação sulfática é uma reação química interna do betão causada pela ação dos sulfatos provenientes dos agregados (ou até mesmo do exterior) com presença da cal e os aluminatos presentes na pasta de cimento.

Como produto desta reação tem-se a formação de taumasite ou etringite¹⁰ que provoca a expansão do betão. Este aumento do volume, pressiona e rompe a matriz de cimento originando o aparecimento de fendas, a desintegração à superfície e por sua vez a deterioração do betão.

j) Abrasão e erosão

A abrasão é um fenómeno que pode ocorrer no pavimento das pontes e é resultante do desgaste provocado por tráfego de veículos, deslizamento e impactos de objetos no próprio pavimento.

Outro mecanismo de deterioração do betão é a erosão, fenómeno que é causado pela ação da água juntamente com partículas sólidas em suspensão. Devido a este fenómeno ocorre uma perda progressiva do ligante e posteriormente levará à desintegração do betão.

k) Fissuração

Este mecanismo de deterioração, é um dos mais incidentes nas estruturas de betão e surge quando a tensão de tração instalada no betão excede a sua resistência. Saliente-se que a fissuração está associado aos outros mecanismos e pode ser causado igualmente por

¹⁰ Produto resultante das reações entre os sulfatos com os aluminatos

vários fenómenos. A tabela seguinte pretende reunir as possíveis causas que levam à fissuração do betão.

Antes do endurecimento	Plástica	-Retração plástica -Assentamento plástico
	Deslocamento em construção	-Da cofragem -Dos apoios
Depois do endurecimento	Física	-Retração dos inertes -Retração por secagem -Craquelé
	Estrutural	-Sobrecarga acidental -Fluência -Cargas de projeto
	Térmica	-Ciclo gelo/degelo -Variações térmicas sazonais -Contração térmica prematura
	Química	-Corrosão das armaduras -Reação álcalis-agregados -Carbonatação do cimento

Tabela 3-5 Causas da fissuração no betão (CEB, 1992)

Saliente-se as fissuras no betão podem assumir diferentes tipos, consoante o fenómeno que deu a sua formação (Coutinho M. S., 1998):

- Fissuras devido à retração plástica

Esta situação verifica-se no betão fresco (duas a quatro horas após a betonagem) e é causada devido à evaporação da água ser superior em relação à exsudação da mesma no betão (Fig. 3-4).

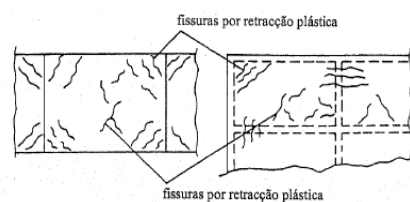


Figura 3-4 Fissuras por retração plástica em lajes e pavimentos (Coutinho, 1998)

Após a colocação do betão na cofragem e respetiva presa, inicia-se o processo de exsudação, em que as partículas do betão assentam por gravidade e a água desloca-se para a superfície por ser menos densa. Quando o assentamento não é uniforme devido a obstáculos (e.g. armaduras), podem desenvolver-se fissuras por assentamento plástico (Figura 3-5).

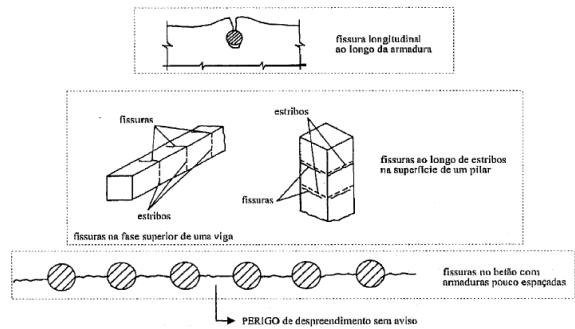


Figura 3-5 Fissuras por assentamento plástico (CEB, 1992)

- Fissuras por sobrecargas

Esta situação ocorre qual a estrutura é mal dimensionada porque esta tinha sido projetada para que as tensões instaladas no betão não excedem às tensões de resistência à tração, em caso de sobrecarga, os esforços internos agravam-se, bem como as suas tensões internas. Na figura seguinte pode-se observar seis tipos de fissuras resultantes de ações diretas, agravando os esforços internos.

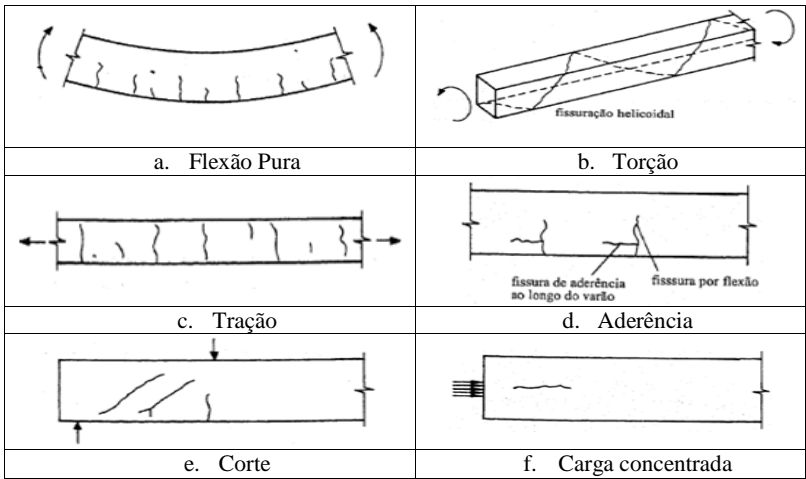


Figura 3-6 Tipos de fissuras (adaptado de CEB,1992 e CEB,2002)

- Fissuras por deformação

A fissuração por deformação é causada por tensões excessivas originadas por impedimento dos deslocamentos, retração ou assentamento diferenciais.

Saliente-se as fissuras no betão pode assumir diferentes padrões, este processo vai depender do alinhamento das fissuras no betão em relação às armaduras principais (CEB, 1992). Sendo assim, o alinhamento das fissuras em relação às armaduras pode ser descritos na tabela seguinte.

Tipo de fissuras	
Transversais	-Cargas diretas (tração e flexão) -Deformações impostas (tração e flexão) -Aderência
Longitudinais	-Aderência -Assentamento plástico
Diagonal	-Corte -Torsão

Tabela 3-6 Alinhamento das fissuras

3.3.2. Agentes e mecanismos de deterioração do aço

Os principais mecanismos de deterioração do aço estão ligados à corrosão das armaduras. A corrosão pode ser definida como um processo eletroquímico onde existe uma diferença de potencial no material, originando fluxos de eletrões, pois para que este mecanismo se desenvolva é necessário a presença de um ânodo (zona de armadura despassivada), um cátodo (zona de armadura em contacto com o oxigénio), um condutor elétrico (armadura) e de um eletrólito (betão), como é apresentado na Figura 3-7 (Lúcio, 2008).

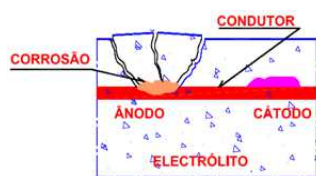
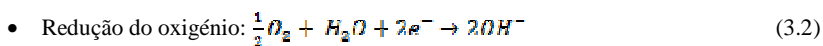


Figura 3-7 Mecanismo de corrosão das armaduras (Lúcio, 2008)

No processo de corrosão do aço, ocorre a libertação de iões ferro (Equação 3.1). Os eletrões libertados migram para zona catódica que ao reagirem com a água e oxigénio, dão origem a iões hidróxidos (Equação 3.2). Estes por sua vez migram para a zona do ânodo, dando origem aos produtos da corrosão, nomeadamente os hidróxidos de ferro (Equação 3.3)

As equações químicas que traduzem o processo de corrosão são as seguintes:



Como consequência do mecanismo de corrosão, temos a redução da secção das armaduras e possível fissuração do betão, resultando assim numa diminuição da resistência da estrutura e um consequente aumento da probabilidade de rotura (Lúcio, 2008).

A corrosão pode ser agravada: com a presença de fissuras que facilita a penetração de agentes agressivos, com recobrimento insuficiente, e porosidade excessiva (Cóias, 2006).

Os fenómenos que provocam corrosão nas armaduras são a carbonatação e a penetração de cloretos, em que independentemente destes dois fenómenos causam o mesmo efeito, expansão das armaduras, consequentemente internas tensões no betão e início do processo de fendilhação.

a) Carbonatação

A carbonatação resulta da presença do dióxido de carbono que vai penetrando lentamente por difusão¹¹ (Figura 3-2). À medida que o dióxido de carbono avança, este reage com o hidróxido de cálcio presente no betão, dando origem ao carbonato de cálcio (Equação 3.4). Este mecanismo é responsável pela eliminação da proteção que o próprio betão exercia em volta das armaduras, ficando estas desprotegidas a fenómenos de oxidação (Equação 3-8).

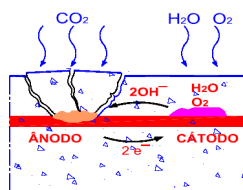


Figura 3-8 Mecanismo de corrosão devido à carbonatação (Lúcio, 2008)

As equações químicas que traduzem o processo de carbonatação são as seguintes:

¹¹ Migração de átomos ou moléculas num sistema físico (sólido, líquido ou gás), em geral devido a sua própria agitação térmica, muitas vezes também causada pela influência de um gradiente de temperatura, pressão, ou por um potencial químico ou elétrico.



O desenvolvimento da carbonatação depende: do teor de humidade existente na estrutura, da humidade relativa ambiental, da concentração de dióxido de carbono no ar, do tipo de cimento e da razão água /ligante do betão.

b) Penetração de cloretos

A penetração de cloretos também é um mecanismo que leva à corrosão das armaduras no betão, este fenómeno surge devido com o contacto das estruturas de betão com a água do mar, com alguns aceleradores de presa, em ambientes ricos em cloro (e.g. piscinas) ou até em agregados retirados do mar.

Saliente-se que o cloro tem um efeito muito prejudicial, porque possui iões cloreto que têm a capacidade de romperem a camada de óxido que protege as armaduras, nomeadamente a película de passivação, dando origem a fenómenos de corrosão das próprias armaduras.

As equações químicas que traduzem o mecanismo de ataque por cloretos são as seguintes:

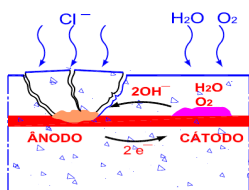
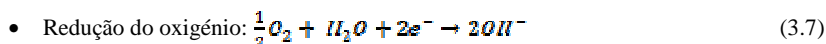
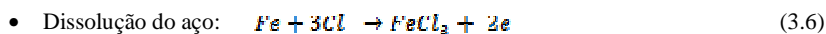


Figura 3-9 Mecanismo de corrosão devido à penetração de cloretos (Lúcio, 2008)

Este mecanismo depende essencialmente da quantidade de cloretos que se encontra na superfície do betão e a qualidade do betão (resistência e porosidade) que vai influenciar a velocidade de penetração dos mesmos no seu interior.

De forma a sintetizar os principais mecanismos de deterioração do betão e do aço, referindo as possíveis causas, apresenta-se possíveis soluções, na tabela seguinte. A tabela

seguinte, pretende de forma resumida, definir os principais mecanismos de deterioração do betão e do aço, evidenciando as principais causas responsáveis pelas anomalias em questão.

Origem	Efeito	Mecanismo	Causa
Biológica	Deterioração do betão	Ataque meio ácido	- Poluição da água, sistemas de esgotos
Física		Abrasão e erosão	- Desgaste (tráfego, deslizamentos, impactos)
		Ciclos de gelo e degelo	-Tensões internas de expansão devido à solidificação da água
		Fogo	- Desidratação da pasta de cimento
Mecânica		Fissuração por retração plástica	- Deficiente compactação e cura. - Evaporação superior à exsudação
		Fissuração por assentamento plástico	- Impedimento de assentamento das partículas, pela cofragem ou armaduras
		Fissuração por sobrecarga	- Deficiente dimensionamento
		Fissuração por retração térmica	- Ligação de betão jovem a betão antigo
		Fissuração por retração	- Deficiente secagem
Química		Ataque de sulfatos	- Reações químicas expansivas
		Ataque da água do mar	- Reações químicas por penetração de cloretos
		Reação álcalis-agregados	- Reações químicas expansivas
	Corrosão do aço	Carbonatação	- Redução da alcalinidade do betão
		Penetração de cloretos	- Destruição da camada de passivação

Tabela 3-7 Mecanismos de deterioração do betão e do aço, soluções recomendadas (adaptado de DNIT, 2010 e Coutinho 1998)

3.4. Fases do aparecimento de anomalias

Nem sempre existe uma origem específica no aparecimento de anomalias, por vezes são manifestações combinadas de diferentes factores, responsáveis pelo aparecimento destas, mas maioria das anomalias existentes nas pontes advém de três fases: projeto/conceção, construção e serviço/exploração (Ryall, 2000).

3.4.1. Na fase de projeto/conceção

Na fase de projeto, é importante controlar todas as variáveis que podem influenciar o comportamento das estruturas, ou seja, todos os elementos de projeto devem ser de total conhecimento do projetista. A qualidade do projeto vai depender do cumprimento das normas regulamentares em vigor, da utilização de um modelo de cálculo adequado e da qualidade da pormenorização de todos os elementos estruturais.

Os principais fatores que podem contribuir para o aparecimento de anomalias na fase de projeto são (Costa, 2008): conceção estrutural inadequada; erros de modelação; especificação inadequada dos materiais (betão e aço); deficiente avaliação das ações/esforços

- Deficiente avaliação da agressividade das condições de exposição;
- Especificação insuficiente do recobrimento;
- Deficiente pormenorização das armaduras
- Conceção inadequada de outros equipamentos (sistemas de drenagem, juntas de dilatação, aparelhos de apoio);
- Não consideração da necessidade de efetuar-se inspeções periódicas e trabalhos de manutenção e de conservação.

Estes factores de um dimensionamento incorreto, pode levar o aparecimento de fluência excessiva, mau controlo na fendilhação e na deformação, corrosão das armaduras, entre outras anomalias. Importa salientar que é fundamental investir nesta fase de modo a evitar complicações no futuro.

3.4.2. Na fase de construção

A fase de construção é responsável muitas vezes pelo origem das anomalias, pelo que é importante garantir qualidade nos materiais de construção juntamente com uma

correta aplicação dos mesmos, é também fundamental evitando más interpretações dos projetos.

Os fatores que podem contribuir para o aparecimento de anomalias na fase de construção são (Tridon, 2009):

- Mau posicionamento dos espaçadores;
- Seleção inadequada dos materiais;
- Insuficiente vibração do betão, originando um betão poroso e pouco durável;
- Cofragens deficientes (deixar moldes ou remoção prematura);
- Fabrico do betão (má qualidade ou má execução em obra);
- Cura deficiente do betão resultando retração por má secagem, levando a fissuração;
- Remoção prematura do escoramento da cofragem;
- Má montagem de equipamentos (ap. de apoio, juntas de dilatação, drenagem);
- Má execução de impermeabilizações.

Nesta fase destaca-se o papel importante das equipas de fiscalização, porque durante a construção devem garantir rigorosamente as condições do projeto de execução e quando não for possível, consultar o projetista.

3.4.3. Na fase de exploração/serviço

Existem anomalias que só vão manifestar-se com o passar dos anos, aquando da utilização da obra, ou seja, na fase de serviço. Os principais fatores que podem contribuir para o aparecimento de anomalias na fase de projeto são (Tridon, 2009):

- Falta de manutenção e conservação;
- Cargas excessivas;
- Exposição a ambientes agressivos para os quais a estrutura não foi projetada;
- Equipamento obsoleto;
- Ausência de inspeção.

Nesta fase é fundamental a ocorrência de inspeções periódicas na vida de ponte, pois permite identificar anomalias que poderão por em causa a segurança dos seus utilizadores. Este assunto será abordado com destaque no capítulo seguinte.

4. INSPEÇÃO E AVALIAÇÃO

O presente capítulo consiste na elaboração de diretrizes e de procedimentos necessários para a realização de uma correta inspeção, tendo como objetivo avaliar a natureza e a extensão das anomalias, minimizando a possibilidade de um componente ser mal avaliado, e definir em tempo útil intervenções adequadas para cada situação.

Saliente-se que existe dois tipos de avaliação que se pode efetuar numa obra de arte, neste sentido, podemos avaliar o estado de deterioração e o comportamento estrutural, sendo focado neste trabalho a avaliação do estado de deterioração.

Não existem regulamentos específicos para procedimentos de inspeção na R.A.M. o que leva a que sejam as entidades responsáveis pelas obras de arte a realizarem as suas próprias diretrizes de gestão e de conservação nas suas infra-estruturas.

No artigo 176º do REBAP, podemos encontrar algumas referências à manutenção das estruturas, referindo a necessidade de realizar-se inspeções regulares consequente reparações (1 a 5 anos nas pontes rodoviárias e 1 a 2 anos nas pontes ferroviárias). Ao invés, as normas europeias (Eurocódigos 2 e 3) dão uma maior importância à uma conveniente manutenção das pontes.

4.1. Sistema de Gestão de Obras de Arte

A limitação de fundos para a manutenção e conservação das obras de arte, torna fundamental a implantação de um sistema que faça a gestão de todas as atividades relacionadas com respetivas obras de arte, oferecendo maior eficácia no tratamento dos dados, de modo a que os gestores tenham uma imagem global do seu parque de obras e uma ferramenta de auxílio nas tomadas de decisões.

Um sistema de gestão de obras de arte é uma ferramenta importante que serve de apoio aos donos de obra na medida em que estes permitem conhecer toda a informação relativa à gestão das respetivas obras de arte em formato organizado e informatizado, priorizando assim os trabalhos a serem efetuados de modo a ser garantido um estado de manutenção e de conservação aceitável. É fundamental a descrição desta ferramenta

porque esta é constituída com base nos dados relativos às várias inspeções realizadas ao longo do tempo e nas respetivas avaliações.

As atividades principais de um sistema de gestão começam uma vez que a ponte é concessionada, é nesse momento que a obra é catalogada na base de dados do sistema e que ao longo do tempo será atualizada através dos registos periódicos das inspeções. Geralmente a estrutura de um sistema de gestão de obras de arte é constituídos por:

- a)** Inventários em que são identificados e descritos as características gerais de uma ponte, nomeadamente através de dados administrativos (identificação e entidades responsáveis), dados técnicos (geométricos, estruturais, materiais e ambientais), dados de utilização (tráfego e importância da obra), bem como todos os dados históricos da ponte (trabalhos e inspeções realizados e próximas a realizar);
- b)** Relatórios e fichas de inspeção, devendo incluir as avaliações efetuadas, respetivas reparações e custos associados, esta componente é importante num sistema de gestão porque é através desta que é conhecido o estado atual da ponte, fundamental para a tomada de decisões;
- c)** Intervenções com toda a informação dos possíveis trabalhos que podem ser realizados, nomeadamente de manutenção, de reparação superficial, de reforço, de beneficiação, de substituição parcial ou total e de demolição;
- d)** Informação financeira, nomeadamente na estimativa de custos e fundos disponíveis;
- e)** Modelos de gestão, que inclui modelos de degradação e de otimização, são modelos que fazem uma previsão futura da deterioração do material, de modo a ponderar e otimizar diferentes cenários de intervenção prioritários, ou seja, estes modelos criam mecanismos de deterioração específicos, à custa de equações, extrapolações ou regressões, fazendo uma previsão do estado e da condição esperada para cada obra de arte, bem com os respetivos custos esperados das intervenções (e.g. modelo probabilístico de Markov).

Um sistema de gestão de obras de arte, deve ser capaz de gerar relatórios, de programar as tarefas a realizar, e hierarquizar os trabalhos mais importantes a serem

efetuados, cabendo sempre ao gestor a decisão final. Este sistema deve utilizar as novas informações resultantes da periodicidade das inspeções, de modo a atualizar os seus modelos de deterioração e previsão de custos, sendo fundamental manter esses dados sempre atualizados. Em suma, os sistemas de gestão representam uma ferramenta eficiente no planeamento e na tomada de decisões contribuindo para uma melhor gestão das obras de arte, hierarquizando as intervenções e a gestão dos recursos disponíveis. Na figura seguinte esquematizou-se o funcionamento geral de um sistema de gestão de obras de arte.

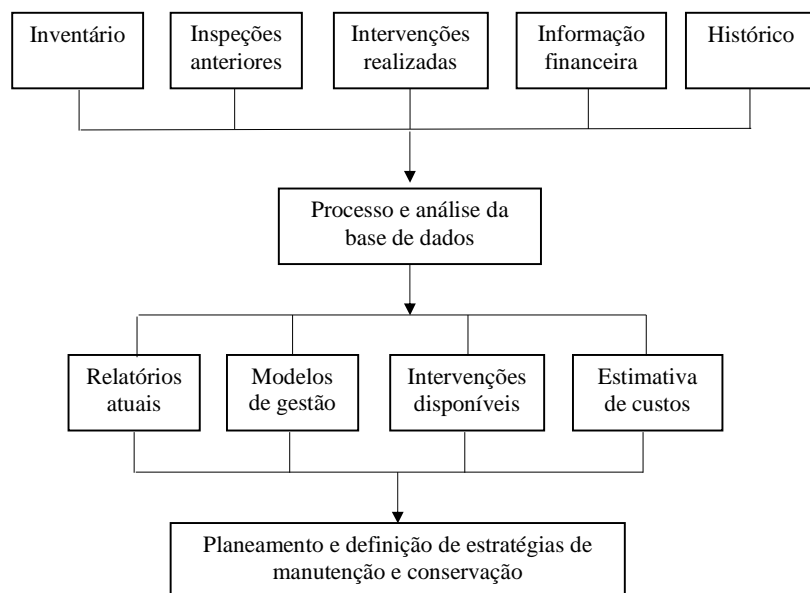


Figura 4-1 Diagrama de um sistema de gestão de obras de arte

4.1.1. GOA

Em Portugal o sistema de gestão mais utilizado pelas entidades responsáveis pelas obras de arte é o sistema GOA (Gestão de Obras de Arte). A Betar Consultores desenvolveu a partir de 1998 esta ferramenta de forma a dar resposta a necessidades dos donos de obra, nomeadamente no apoio à gestão, permitindo saber o estado real de conservação e manutenção, de forma adotarem decisões relativamente à definição dos investimentos a realizar. Refira-se que é este sistema que está implementado nas

instalações das concessionárias Via Litoral e Via Expresso, e no qual utilizei para fazer a minha pesquisa sobre as respetivas obras de arte estudadas.

O sistema GOA foi desenvolvido de forma a adaptar-se às necessidades dos diversos donos de obra e acompanhando o crescimento tecnológico ao nível informático, apresentando um conjunto de módulos que interagem entre si. Os módulos que fazem parte do GOA são:

- a) **Tabelas auxiliares**- este módulo corresponde à informação sobre os diversos tipos trabalhos (manutenção e reparação), classificando ainda alguns destes como prioritários, neste módulo podemos encontrar ainda tabelas de anomalias e a tabela de associação de anomalias a trabalhos, de forma a facilitar o trabalho do inspetor.
- b) **Estimativas de custos e ajuste orçamental**- este módulo fornece estimativas de custos para anos próximos (mínimo de 5 anos), permitindo ainda a realização de ajustes orçamentais de forma a reduzir a verba necessária para realizar trabalhos de manutenção e reparação, adiando para o ano seguinte os trabalhos que foram excluídos.
- c) **Módulo de inventário**- deve de constituir no primeiro registo a ser efetuado no GOA e é implementado sempre que é recebido uma nova obra, neste módulo está registado todas as características de uma ponte.
- d) **Módulos de inspeções** (rotina, principais, especiais e subaquáticas)- neste módulo é registado todas as anomalias verificadas em cada componente, sendo estas sujeitas a uma avaliação qualitativa (estado de manutenção) e quantitativa (estado de conservação), e posteriormente associadas a trabalhos de reparação. No sistema GOA, as anomalias são fotografadas e anexadas à informação do respetivo componente, adicionando as medidas corretivas para cada situação.
- e) **Módulo do histórico**- neste módulo encontram-se registadas todas as alterações efetuadas na base de dados, ficando igualmente registadas as intervenções de maior importância efetuadas na obra de arte
- f) **Módulo de consulta**- a ferramenta apresenta um conjunto de filtros que possibilita uma fácil utilização e aplicação de critérios de seleção que podem ser

utilizados como forma de consulta, a visualização em mapa da localização das obras selecionadas bem como do registo fotográfico permite igualmente uma interação e descrição simples para o utilizador.

g) Módulo de registo de transportes especiais- o sistema permite efetuar uma verificação das obras de arte existentes no itinerário de passagem do veículo, verificando se estas possuem uma altura livre adequada além de verificar se têm a capacidade de carga suficiente para o transporte solicitado.

h) Módulo de relatórios- este módulo permite exportar os respetivos relatórios em lotes, de acordo com a indicação do utilizador.

Em síntese, as utilidades que se destacam no sistema GOA são:

- Registo de toda a informação e características de cada obra de arte reunida de forma organizada num catálogo ou inventário;
- Gerar relatórios com a informação recolhida nas atividades de Inspeção, nomeadamente fotos e descrições de anomalias detetadas pelo inspetor;
- Calcular custos totais de reparação sendo necessário apenas a introdução das quantidades exigidas para a respetiva intervenção, uma vez que o sistema dispõe de uma base de dados com os vários tipos de reparações e respetivos custos unitários;
- Efetuar um ajuste orçamental de forma a restringir a verba disponível para os trabalhos prioritários de reparação, deixando deste modo os trabalhos não prioritários para outro ano fiscal;
- Relacionar a base de dados com um sistema de informação geográfica, permitindo ao utilizador localizar e identificar facilmente as obras de arte, conhecendo deste modo a caracterização geográfica da sua envolvente.

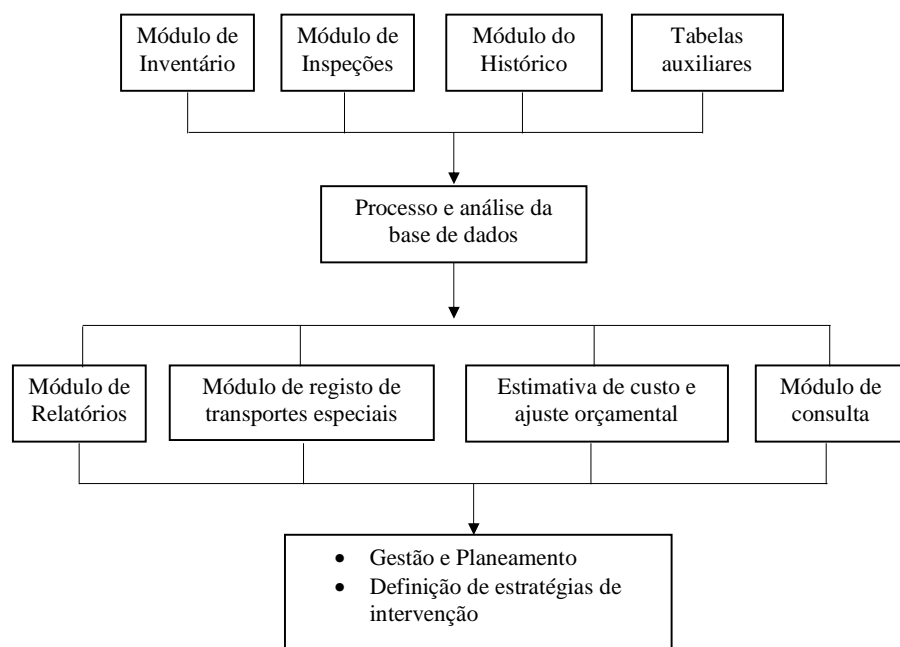


Figura 4-2 Diagrama do funcionamento do sistema GOA

Na figura anterior, representou-se num diagrama, todos os módulos intervenientes do sistema GOA, em que através de vários *inputs*, o sistema ordena e processa toda a informação adquirida, colocando ao dispor dos seus utilizadores vários *outputs*, apresentando análises fundamentais para os órgãos decisores dos processos de gestão e conservação das obras de arte.

4.2. Inventário

O inventário consiste no registo informatizado das características de uma obra de arte e que servem como base para futuras inspeções. Constitui o primeiro passo para qualquer tipo de inspeção a realizar pois possibilita uma recolha sistemática e organizada das características das obras de arte e do meio envolvente.

O Inventário é composto por três tipos de dados distintos, dados administrativos, dados técnicos e dados de constituição. Nos dados administrativos são registados toda a informação que nos permita localizar e identificar a obra, nomeadamente o nome da via e

ponto quilométrico, recorrendo-se a georreferenciadores (e.g. GPS), para uma correta identificação é ser atribuída a cada obra de arte uma numeração ou uma matrícula. Nos dados técnicos são registados a solução estrutural adotada, as dimensões gerais (comprimento, largura, “gabarits”), tráfego e informações sobre o meio envolvente (zona sísmica e agressividade ambiental), são estes os dados mais indicados para entender-se o comportamento estrutural da obra. Finalmente os dados de constituição pretendem descrever e quantificar os materiais e equipamentos que fazem parte de cada componente, em que um dos objetivos de registo é na identificação das respetivas marcas e modelos, bem como das respetivas quantidades. Estes três tipos de dados podem ser obtidos consultando o projeto de execução ou através de uma recolha direta em campo.

4.2.1. Planeamento

De forma a efetuar-se um correto registo de inventário, trata-se em seguida de três fases importantes para a obtenção dos diversos dados a ser inventariados.

- **Localização**

A localização das obras a catalogar é essencial para a execução de um correto planeamento dos trabalhos resultantes das atividades de inspeção, caso não estejam disponíveis qualquer tipo de informação sobre a envolvente das obras, a sua localização poderá fornecer informações sobre a existência ou não de condicionalismos em termos de acesso (cursos de água, estradas de acesso, relevo acidentado)

- **Medições**

As medições devem ser efetuadas com rigor, respeitando as quantidades medidas e não excedendo o seu valor sob pena do resultado final não coincidir com as quantidades reais. Todos os equipamentos usados para as medições, devem estar em boas condições de funcionamento.

- **Segurança**

Esta fase do planeamento é muito importante e devem ser respeitado durante os trabalhos no terreno. Todos os trabalhos desde o inventário até às inspeções, devem ser efetuados sempre com rigor e cumprindo as normas de segurança previamente estipuladas,

quer em termos de sinalização do pessoal e veículos de inspeção, quer na circulação dos mesmos.

4.2.2. Procedimentos de recolha e registo de dados

Os dados obtidos nas medições dos diversos componentes, podem ser registados em diferentes tipos de suporte, independentemente do tipo de suporte utilizado, estes devem ser guardados em arquivos próprios, organizados por obra, por via ou segundo outros critérios que se considere mais apropriado.

De forma a possibilitar uma maior eficiência no trabalho de levantamento de dados no local, as medições podem ser registadas em suportes como fichas em papel, gravador de voz ou *Palm-top* (computador de bolso), em que primeiramente deverá ser efetuado uma tabela ou um formulário de registo de dados de acordo com a obra inventariada.

4.3. Inspeção de Rotina

As inspeções de rotina compreendem um conjunto de procedimentos e normas que visam estabelecer uma correta avaliação das obras de arte. Idealmente é recomendado que tenha uma periodicidade anual e tem como principais objetivos: avaliar o estado de manutenção da obra; verificar se os trabalhos de manutenção anteriormente recomendados na inspeção de rotina anterior foram realizados; atribuir trabalhos complementares; bem como indicar, se necessário, a realização de uma inspeção principal.

Este tipo de inspeção permite ainda detetar principalmente as anomalias resultantes da falta de manutenção, especificar trabalhos de manutenção, previsão de custos de manutenção para o ano seguinte, permitindo efetuar-se mapas de quantidades para trabalhos propostos num lançamento de futuras empreitadas de manutenção. A deteção deste tipo de anomalias é extremamente importante porque a médio e a longo prazo, associados a uma deficiente manutenção, poderá alterar a durabilidade dos materiais e causar anomalias mais graves. No caso do inspetor detetar este tipo de anomalias, este deverá indicar a necessidade de realização de uma Inspeção principal complementar (e.g. fissuras em elementos estruturais, rotação dos pilares, assentamento das fundações, desaprumo dos apoios)

4.3.1. Procedimentos gerais

Numa inspeção de rotina, o inspetor deverá fazer o registo detalhado e completo de todos os danos e anomalias visíveis inclusive as situações de mau funcionamento, descrevendo, localizando o dano, referindo a causa (se for conhecida) e prever a sua evolução. Posteriormente deverá ser sugerido trabalhos de manutenção mediante a anomalia verificada e estimativa custos.

Descreve-se em seguida os principais procedimentos para efetuar-se uma Inspeção de rotina:

1. Preparação: é o procedimento que antecede a inspeção propriamente dita e consiste na identificação da localização da obra de arte e condicionamentos envolventes, na verificação das condições de acesso (utilização de plataformas elevatória se necessário), na necessidade de efetuar desvios de tráfego avisando as autoridades competentes, na seleção e verificação do funcionamento dos equipamentos, bem como na consulta do histórico (inspeções anteriores).

2. Inspeção por componente: nesta fase, o inspetor deverá percorrer e efetuar uma análise exclusivamente visual pela obra de arte, procurando inspecionar todos os componente, devendo ter em atenção todos os pormenores que possam influenciar a durabilidade e o aspeto de manutenção dos respetivos componentes. A análise visual de uma ponte corresponde à etapa necessária para o diagnóstico do estado geral da estrutura. Os inspetores para efetuarem uma análise visual, deverão estar equipados de equipamentos: de limpeza (escova e martelo); de visão (binóculos, lente e lanterna); de medição (termómetro, fita métrica, réguas de escala, laser, fissurómetros); de registo (marcadores, fichas de avaliação e máquina fotográfica) e de segurança (primeiros socorros, capacete e arnês).

Na tabela seguinte, é apresentada as situações mais comuns que se pretende identificar numa inspeção de rotina.

Componentes	Situações a identificar
Muros	<ul style="list-style-type: none"> - mau acabamento ou descasque na superfície do betão - pinturas indesejáveis - varões de esticadores de cofragem por retirar - fixação de detritos ou de vegetação - infiltrações ou escorrência de água

Taludes	<ul style="list-style-type: none"> -crescimento de vegetação ou ravinamentos -rotura de elementos das caleiras -escoamento indesejável de água -danos no revestimento por descarga das gárgulas
Encontros	<ul style="list-style-type: none"> -existência de detritos na mesa dos encontros -existência de infiltrações por ausência de órgãos de drenagem -existência de varões, prego ou madeira por retirar -furos por preencher
Aparelhos de apoio	<ul style="list-style-type: none"> -desalinhamento dos rolos -placas de posicionamento retiradas -corrosão pontual ou generalizada de algum elemento -acumulação de detritos
Apoios intermédios	<ul style="list-style-type: none"> -descasques devido a embates -varões e pregos de cofragem por retirar -furos por preencher
Tabuleiro	<ul style="list-style-type: none"> -passagem de água pelo bordo do tabuleiro por falta de pingadeira -passagem de água em torno das gárgulas por deficiente selagem nas mangas -molhagem da face inferior do tabuleiro por inexistência de mangas de queda -varões, pregos, cunhas e madeiras de cofragem por retirar
Cornijas	<ul style="list-style-type: none"> -delaminação pontual de betão -descasque pontual de betão -juntas entre cornijas mal seladas
Guarda corpos	<ul style="list-style-type: none"> -descasque pontual ou generalizado da pintura de proteção -deformações devido a embates -má colocação dos elementos -má fixação das bases (parafusos soltos ou corroídos) -danos no betão (fendilhação ou descasque nos acrotélios) -desalinhamento dos perfis
Guardas de segurança	<ul style="list-style-type: none"> -deformação dos elementos (embate e colisões) -falta de elementos (geralmente amortecedores) -má colocação das bases -corrosão dos elementos -danos em elementos de betão (lancis ou perfil <i>New Jersey</i>)
Passeios	<ul style="list-style-type: none"> -falta de elementos pré-fabricados de revestimento -fendilhação da argamassa de revestimento -acumulação de detritos ao longo do passeio
Revestimento da via	<ul style="list-style-type: none"> -infiltrações através do revestimento -fendas ou descasques ao longo da via -irregularidade do pavimento -acumulação de detritos
Drenagem	<ul style="list-style-type: none"> -sistemas de drenagem inadequados -falta de ligação de caleiras, valetas ou tubagens -danos nas caleiras, valetas ou tubagens -acumulação de sedimentos em boeiros -falta ou danos em tampas protetoras de sarjetas, gárgulas e caixas de

	ligação
Juntas de dilatação	-desnívelamento dos elementos da junta e entre a junta e o revestimento da via -ausência de tampas protetoras das fixações -fixações danificadas -corrosão pontual ou generalizada de elementos metálicos -acumulação de detritos -ausência ou deterioração do material de preenchimento das juntas

Tabela 4-1 Situações a verificar numa inspeção de rotina

3. Trabalhos de manutenção: é pretendido que através de uma inspeção de rotina se consiga indicar os trabalhos corretivos das anomalias observadas, estes trabalhos podem ser de limpeza ou de pequena reparação, permitindo manter ou melhorar o nível de desempenho da obra de arte, podemos então englobar em trabalhos de manutenção corrente (limpezas) e em trabalhos de manutenção não correntes (pequenas reparações). Este tema será abordado com maior destaque no capítulo seguinte

4. Quantificação dos trabalhos: quando é proposto um trabalho de manutenção, é necessário indicar a sua localização e um valor estimado da sua quantificação, tentando aproximar ao máximo do valor real

5. Estimativa de custo: para cada trabalho de manutenção proposto, está definido custos unitários que podem mudar de valor consoante os valores de mercado.

6. Armazenamento e introdução de dados: Os dados adquiridos durante a Inspeção, são devidamente armazenados para que se possa posteriormente introduzir no respetivo sistema de gestão.

7. Inspeção complementar: no caso em que exista a necessidade de realização de outro tipo de inspeção, resultante de incertezas na avaliação ou na deteção de anomalias mais graves, o inspetor deverá solicitar a realização de uma inspeção principal ou até mesmo de uma inspeção especial.

4.3.2. Avaliação do Estado de Manutenção:

Após realizado o trabalho de inspeção, existe a necessidade de classificar os componentes inspecionados, com isto, segue-se a avaliação do estado de manutenção da obra de arte. O estado de manutenção é um indicador que pretende classificar

qualitativamente cada componente, mediante a necessidade de respetivos trabalhos de manutenção, neste sentido, é atribuído a classificação de “Bom” quando não é necessário realizar trabalhos de manutenção e “Mau” quando é necessário realizar trabalhos de manutenção (Tabela xx).

Estado de manutenção	Significado
Bom	Bom estado de manutenção, não é necessária a realização de trabalhos de manutenção
Mau	Mau estado de manutenção, é necessária a realização de trabalhos de manutenção

Tabela 4-2 Avaliação do estado de manutenção

Estado de manutenção	Significado
Bom	Bom estado de manutenção, não é necessária a realização de trabalhos de manutenção.
Suficiente	Estado de manutenção aceitável e suficiente, com trabalhos de manutenção mas não prioritários.
Insuficiente	Estado de manutenção aceitável e suficiente, com trabalhos de manutenção prioritários

Na Figura 4-3 é proposto um fluxograma com os principais procedimentos a realizar numa inspeção de rotina.

Comentado [RJ5]: A primeira tabela representa avaliação utilizada pela Betar, estava a pensar a utilizar outra avaliação, seria na mesma uma avaliação qualitativa, mas introduzindo mais um elemento de avaliação, como está representado na segunda tabela. Que acha?

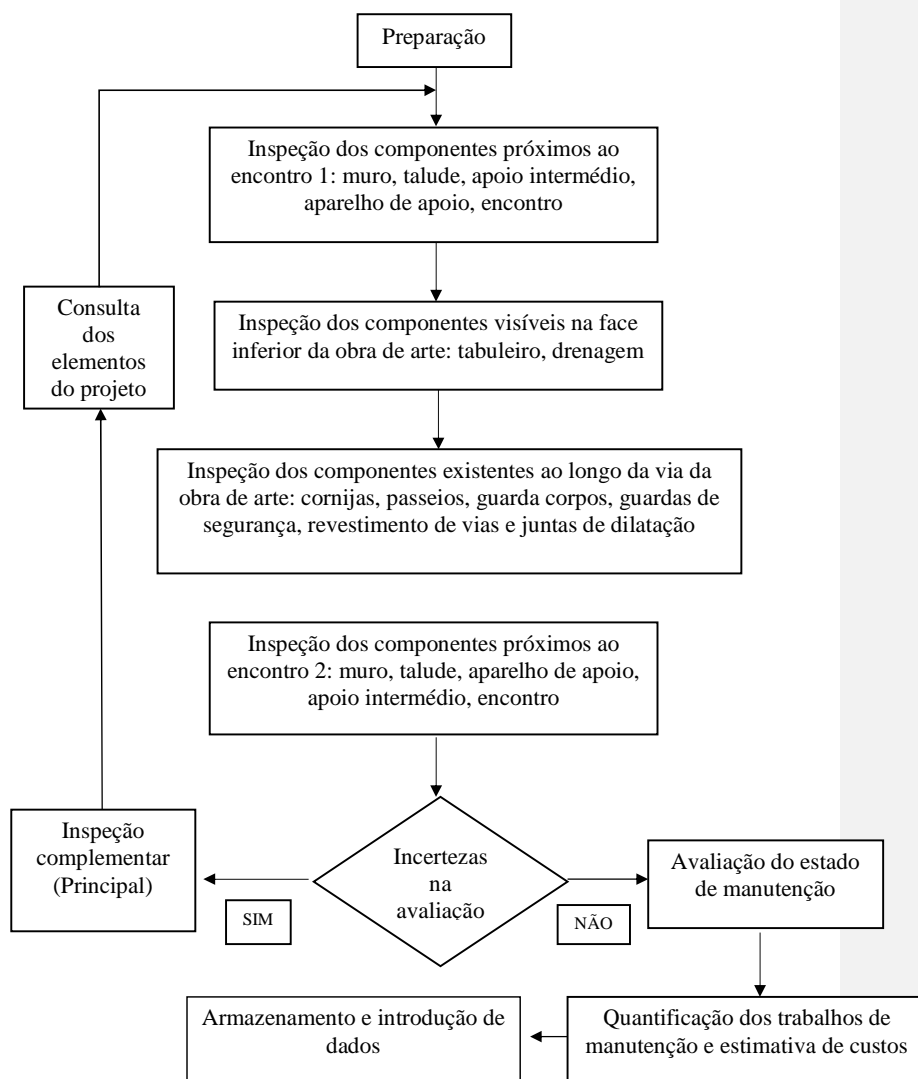


Figura 4-3 Fluxograma proposto para a realização de uma inspeção de rotina

A inspeção de rotina, apesar de ser importante, é insuficiente para obter uma informação completa sobre o estado dos componentes e dos seus materiais respetivos, pois não permite avaliar a evolução das anomalias em profundidade. Desta forma é importante recorrer a meios de diagnóstico complementares (nomeadamente na realização de ensaios)

que permitem obter uma informação mais completa para a caracterização dos materiais e do comportamento das estruturas.

4.4. Inspeção Principal

Uma inspeção principal consiste numa análise visual mais cuidada e no registo das condições de funcionamento da estrutura que se pretende inspecionar. Neste registo ficam identificadas as anomalias mais graves que poderão comprometer o funcionamento dos vários componentes, quer ao nível de durabilidade quer ao nível da segurança, ou seja, pretende-se identificar os danos mais graves que correspondem geralmente a um estado mais avançado de degradação (estado de conservação) dos componentes

É recomendado para este tipo de inspeção uma periodicidade de cinco anos, podendo ser diminuída consoante as características da ponte e da agressividade do meio envolvente em que está inserida. Este tipo de inspeção também pode ser realizado sempre que verificar-se causas ambientais (e.g. aluviões) ou causas acidentais (e.g. embates de veículos).

Neste tipo de Inspeção, pretende-se avaliar o estado de conservação de todos os componentes, recomendando trabalhos de reparação que visam retificar as anomalias detetadas.

O que distingue a inspeção principal da inspeção anterior com, é que na inspeção de rotina não é efetuado a avaliação das anomalias mais graves (e.g. fissuras em elementos estruturais, rotação ou desaprumos de pilares, assentamentos de fundações, entre outros), a de rotina pretende apenas identificar as anomalias resultantes da falta de manutenção. Neste sentido, os danos menores estão associados ao estado de manutenção “Mau” (verificado em inspeções de rotina) e contribuem para a durabilidade a médio e a longo prazo, enquanto os danos maiores estão associados a um estado mais avançado de degradação (estado de conservação) podendo comprometer a durabilidade dos componentes a curto ou médio prazo (verificado em inspeções principais).

4.4.1. Procedimentos gerais

Durante uma inspeção principal, à semelhança da inspeção de rotina, o inspetor deverá fazer o registo detalhado e completo de todos os danos e anomalias visíveis

inclusive as situações de mau funcionamento, descrevendo, localizando o dano, referindo a causa (se for conhecida) e prever a sua evolução. Posteriormente deverá ser sugerido trabalhos de reparação mediante a anomalia verificada e estimativa custos.

Descreve-se em seguida os principais procedimentos para efetuar-se uma inspeção principal:

1-Preparação: semelhante à anterior, com a exceção que também deve ser consultado os elementos de projeto, de modo a conhecer-se por exemplo os deslocamentos esperados nos aparelhos de apoio, juntas de dilatação e a localização da existência de equipamentos dissipadores de energia sísmica

2-Inspeção por componente: nesta fase, o inspetor deverá percorrer e efetuar uma análise exclusivamente visual pela obra de arte, procurando inspecionar os componentes, devendo identificar os todos os danos e anomalias mais graves, que influenciam diretamente a durabilidade, a segurança e a conservação das estruturas em questão.

Na tabela seguinte, é apresentado as situações mais comuns que se pretende identificar numa inspeção principal.

Componentes	Situações a identificar
Muros	-fendilhação -mau dimensionamento (por exemplo, falta de altura para conter os taludes) -falta de estabilidade (rotação e/ou deslocamentos relativos excessivos)
Taludes	-erosão -assentamentos
Encontros	-fendilhação ou descasque no betão -assentamentos da fundação dos encontros (presença de fenda verticais e/ou oblíquas com grande espessura)
Aparelhos de apoio	-deslocamentos ou deformações excessivas -fendilhação ou rotura por esmagamento dos plintos -deterioração do teflon -esmagamento do chumbo -rotura do neoprene
Apoios intermédios	-fendilhação principalmente vertical na base ou na ligação ao tabuleiro -falta de recobrimento das armaduras -falta de contenção das fundações dos apoios intermédios

Tabuleiro	-fendilhação -distorção ou variações anormais na sua geometria -armaduras expostas -danos nas ancoragens de pré-esforço
Cornijas	-delaminação pontual de betão -fendilhação -exposição de armaduras
Guarda corpos	-deformações devido a embates -danos no betão (fendilhação ou descasque nos acrotélios) -desalinhamento dos perfis
Guardas de segurança	-deformação dos elementos (embate e colisões) -corrosão dos elementos -fendilhação no betão (lancis ou perfil <i>New Jersey</i>)
Passeios	-assentamentos nas extremidades de revestimento -fendilhação da argamassa de revestimento
Revestimento da via	-fendas ou descasques ao longo da via -irregularidade do pavimento -falta de atrito de superfície
Drenagem	-sistemas de drenagem inadequados -danos nas caleiras, valetas ou tubagens -falta ou danos em tampas protetoras de sarjetas, gárgulas e caixas de ligação
Juntas de dilatação	-fendilhação do material de preenchimento -deformações excessivas (distorções, deformações verticais, desalinhamentos) -corrosão pontual ou generalizada de elementos metálicos -rotação excessiva entre elementos (muro e encontros)

Tabela 4-3 Situações a verificar numa inspeção principal

Destaca-se a importância de verificar a existência de anomalias em qualquer elemento de betão armado, as seguintes situações:

- Deformações excessivas;
- Fendilhação em elementos estruturais, tendo em atenção a orientação e abertura das fendas;
- Exsudação de uma espécie de gel no interior das fissuras, situação que pode indicar um estado avançado da reação alcalis-sílica;
- Betão com uma coloração esbranquiçada, situação que poderá indicar carbonatação no betão.

Para cada situação identificada é necessário efetuar-se uma descrição mais pormenorizada na descrição das anomalias detetadas, nomeadamente: a sua natureza, as possíveis causas; as suas características; o seu desenvolvimento e a sua extensão, de modo a recomendar-se trabalhos de reparação mais indicados.

- **Natureza-** refere o tipo de anomalia observada, por exemplo: fendilhação, delaminação, corrosão, deformação, entre outras já referidas anteriormente;
- **Causas-** nem sempre é possível identificar-se as causas que deram origem às anomalias detetadas, como também é possível identificar-se mais do que uma causa responsável pelo aparecimento da anomalia;
- **Desenvolvimento-** corresponde ao grau de evolução atual e expectável a curto prazo da anomalia, e pode compreender as seguintes descrições: ligeiro, superficial, pouco significativo, acentuado, profundo e grave;
- **Caraterísticas-** pretende-se descrever o aspeto das respetivas anomalias, referindo a coloração, a espessura e orientação (no caso de fendas), forma, entre outras caraterísticas;
- **Extensão-** refere-se à frequência com que a anomalia ocorre na obra, pode ser designada de pequeno/pontual/superficial no caso do dano pouco frequente, e de grande/generalizado/profundo no caso da anomalia ser mais frequente ao longo do componente.

3-Trabalhos de reparação: Após identificar-se as anomalias detetadas na inspeção, deve ser atribuídos trabalhos de reparação, estes permitem reparar danos mais graves e são propostos em situações que podem comprometer a curto/médio prazo a segurança estrutural da obra de arte. Neste tipo de inspeção, pode optar-se também por não atribuir-se trabalhos de reparação, é o caso de degradação natural dos materiais e equipamentos, visto que por vezes não é economicamente viável a sua reparação ou em situações de má conceção em que os custos de reparação excedem os de substituição da obra. Este tema será abordado com maior destaque no capítulo seguinte.

4-Quantificação dos trabalhos: quando é proposto um trabalho de reparação, é necessário indicar a sua localização e um valor estimado da sua quantificação, tentando aproximar ao máximo do valor real.

5-Estimativa de custos de reparação: para cada trabalho de reparação proposto, está definido custos unitários que podem mudar de valor consoante os valores de mercado.

6-Armazenamento e introdução de dados: Os dados adquiridos durante a Inspeção, são devidamente armazenados para que se possa posteriormente introduzir no respetivo sistema de gestão.

7-Estudos complementares: em caso de incerteza no diagnóstico, nomeadamente na causa, na extensão ou na evolução da anomalia, deve ser solicitar a realização de uma inspeção especial de forma a realizarem-se análises técnicas mais específicas (ensaio) que permitam avaliar com mais rigor e segurança, o estado real da estrutura, propondo-se assim trabalhos mais apropriados para a sua reparação. Também poderá ser indicado restrições à exploração, nomeadamente com interdição total, proibição a veículos pesados ou limitação de velocidade.

4.4.2. Avaliação do Estado de Conservação

Após realizado o trabalho de inspeção principal, existe a necessidade de avaliar cada componente inspecionado, neste sentido é feito uma avaliação do estado conservação, indicador que traduz as condições de desgaste, de deterioração e de funcionamento em que se encontra cada componente, é uma avaliação quantitativa e definida numa escala numérica variável entre 0 e 5, este indicador permite ainda determinar a prioridade pelas quais as componentes devem ser intervencionadas, tendo em vista a correção das anomalias identificadas.

O estado de conservação (EC) a atribuir a cada componente, pode ser obtido através da análise de cinco parâmetros específicos (Tabela 4-4): natureza da anomalia (n), desenvolvimento da anomalia (d), extensão da anomalia (e), função do componente (f) e consequência da anomalia (c), e o estado de conservação (EC) resulta no somatório dos cinco parâmetros (Equação 4.1)

$$EC = n + d + e + f + c \quad (4.1)$$

Parâmetro	Descrição	Av.	Exemplos
Natureza da anomalia (n)	Pouco grave, não traz consequências	0	Fendilhação devido a retração (má cura do betão)
	Grave, consequências na segurança	1	Fendilhação devido a assentamentos da fundação
Desenvolvimento da anomalia (d)	Nenhuma ou pequena evolução	0	Pequeno descasque no betão devido a um embate
	Grande, com evolução	1	Erosão com ravinamento de um talude

	rápida		(grande desenvolvimento)
Extensão da anomalia (e)	Menos de metade do valor admissível	0	Corrosão pontual de guarda corpos (menos de 50%)
	Mais de metade do valor admissível	1	Corrosão generalizada de guarda corpos (mais de 50%)
Função do componente (f)	Cumpra a função designada	0	
	Não cumpra a função designada	1	
Consequência da anomalia (c)	Não compromete outros componentes	0	
	Compromete outros componentes	1	

Tabela 4-4 Avaliação dos parâmetros que influenciam o estado de conservação, adaptado de (Vieira,2003)

Nos parâmetros parciais supracitados, a avaliação estará sempre dependente do critério adotado pelos inspetores, é com base na experiência, conhecimentos técnicos e também algum bom senso, que estes deverão contribuir para uma uniformização dos critérios utilizados, não se tratando de regras, mas apenas de conselhos que poderão ser úteis sobretudo em caso de incertezas.

Na tabela seguinte apresenta-se uma classificação final, somando as pontuações parciais e a interpretação dos respetivos estados de conservação.

Estado de conservação	Significado
0	Estado de conservação muito bom. Não é necessário efetuar qualquer tipo de reparação.
1	Estado de conservação bom, existe alguns defeitos mas sem importância no comportamento e durabilidade. Não é necessário qualquer reparação.
2	Estado de conservação razoável, detetados defeitos com alguma importância no comportamento e durabilidade. É necessário efetuar reparação mas não justificam uma intervenção prioritária.
3	Estado de conservação mau, funcionamento defeituoso com importância em especial na durabilidade. São necessárias reparações a médio prazo (3 a 5 anos).
4	Estado de conservação muito mau, funcionamento defeituoso com importância na durabilidade e o comportamento, o componente não cumpre o nível de serviço para o qual foi concebido. São necessárias reparações prioritárias a curto prazo (1 a 2 anos).
5	Estado de conservação extremamente mau, perigosos para a segurança dos utentes. São necessárias reparações imediatas e altamente prioritárias, eventualmente pode optar-se também por intervenções mais radicais como por exemplo substituição ou até mesmo demolição.

Tabela 4-5 Significado dos estados de conservação (adaptado de Vieira, 2003)

Na Figura 4-4 é proposto um fluxograma com os principais procedimentos a realizar numa inspeção principal.

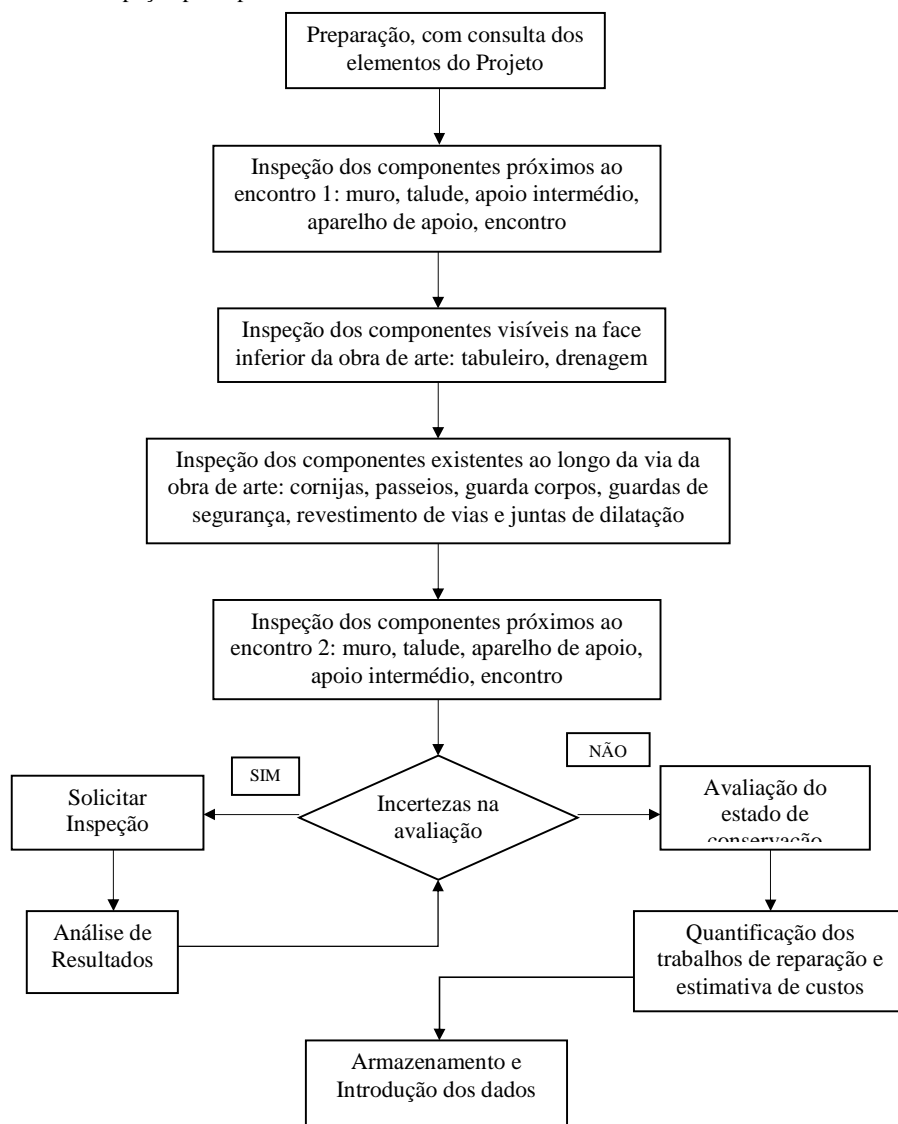


Figura 4-4 Fluxograma proposto para a realização de uma inspeção principal

4.5. Inspeção Especial

Este tipo de inspeção também, não tem uma periodicidade definida para ser efetuada, isto porque surge normalmente após uma inspeção principal, ou seja quando é verificado uma anomalia cuja causa, extensão e gravidade não é totalmente conhecida e quando a sua avaliação é fundamental para garantir a segurança e a durabilidade da estrutura.

Numa inspeção especial recorre-se normalmente a meios elevatórios amovíveis e a recolha de amostras (carotes) para posteriormente efetuar-se ensaios, permitindo identificar: a qualidade dos materiais; o grau de deterioração dos materiais; o impacto que a anomalia provoca na resistência dos vários componentes e a sua evolução.

Como os custos envolvidos neste tipo de inspeção são elevados, é fundamental uma escolha racional dos ensaios a realizar bem como dos equipamentos a utilizar. O tipo de ensaio deve ser definido consoante os resultados pretendidos, a precisão exigida, a extensão da estrutura, a verba disponível, e a perturbação que é introduzida na utilização da obra de arte.

Os resultados obtidos neste tipo de inspeção servem de base para definir-se uma estratégia de intervenção que poderá passar pela execução de um projeto de reabilitação da estrutura implicada ou apenas definindo um acompanhamento da obra de arte (monitorização das anomalias)

4.5.1. Tipos de ensaios realizados

Podemos utilizar uma variedade enorme de ensaios consoante a sua especificidade de utilização.

Numa primeiro agrupamento podemos diferenciar os ensaios em mecânicos, físicos ou químicos. Os ensaios mecânicos permitem conhecer a resistência dos materiais e as suas características elásticas (e.g. ensaios de tração e compressão). Os ensaios físicos permitem identificar as características físicas dos materiais, nomeadamente densidade, permeabilidade, porosidade, absorção, teor em água, entre outras características. Os ensaios químicos são efetuados para conhecer-se análises químicas, térmicas e composições do betão (dosagem de cimento).

Num segundo grupo, podemos diferenciar os ensaios destrutivos dos ensaios não destrutivos. Os ensaios destrutivos temos que englobar principalmente a extração de carotes para determinar a capacidade resistente dos materiais e sua deformabilidade. Nos ensaios não destrutivos destacam-se os seguintes ensaios de diagnóstico das características dos materiais: esclerómetros; ultra-som; radioscopia; medição de recobrimentos, determinação do teor em cloretos.

Na tabela seguinte identifica-se os principais ensaios que podem ser realizados numa inspecção especial.

Ensaio	Designação
Análise petrográfica	Avaliação da qualidade, composição e deterioração química do betão, através da execução de lâminas delgadas de betão para análise ao microscópio
Ensaio de compressão triaxial	Consiste na determinação dos parâmetros de resistência.
Ensaio esclerómetro	Avaliação da uniformidade e qualidade do betão bem como da estimativa da resistência à compressão, através de um elemento metálico com uma massa normalizada que é projectado contra a superfície do betão com uma energia definida. O ricochete da massa é medido e relacionado com a dureza superficial do betão.
Medição da profundidade de carbonatação	A profundidade de carbonatação é medida aspergindo uma solução de indicador ácido/base numa superfície de betão recentemente fracturada.
Medição de cloretos	São extraídas amostras de betão a várias profundidades e determinado o seu teor em cloretos.
Medição de recobrimento	Deteção da posição das armaduras (e.g. pacómetro).
Medição do potencial eléctrico	Deteção de corrosão nas armaduras através da medição do potencial eléctrico das armaduras relativamente a um eléctrodo de referência colocado à superfície do betão (eléctrodo de cobre/sulfato de cobre ou prata/cloreto de prata)
Medição do teor de alcalis	Avaliação das reacções álcalis-sílica associadas à presença de inclusões de sílica reactiva na brita utilizada no betão.
Medição do teor de humidade	Executam-se furações à profundidade pretendida colocando-se no interior do betão um sensor de humidade. Fornece informação qualitativa acerca da velocidade de corrosão após as armaduras se tornarem activas.

Tabela 4-6 Principais ensaios realizados numa inspecção principal

Numa abordagem geral e exemplificativa, se houver suspeita de corrosão das armaduras pode recorrer-se à medição do potencial eléctrico, da resistividade, do recobrimento das armaduras, da permeabilidade ou do teor de cloretos no betão. Enquanto

se a suspeita for delaminação no betão, utiliza-se técnicas de vibração em conjunto com a recolha de carotes.

4.5.2. Outros trabalhos que podem ser efetuados

- **Ensaio de carga-** A fim de avaliar a capacidade de carga e as características intrínsecas da estrutura podem ser realizados ensaios de carga. Os ensaios de carga podem ser divididos em dois tipos:

a) **Ensaio de carga estática:** tem por finalidade comprovar se as condições de carga, isto é, se as ações que a ponte vai estar submetida durante a sua vida útil ajusta-se ao comportamento previsto no projeto. As medições a efetuar (e.g. cargas, tensões, deslocamentos e deformações) deverão ser suficientes para permitir uma correta avaliação do comportamento da estrutura.

b) **Ensaio de carga dinâmica:** tem por finalidade determinar os parâmetros que identificam as características intrínsecas da estrutura, nomeadamente as frequências de vibração, coeficiente de amortecimento, acelerações e coeficientes de amplificação dinâmica e também detetar anomalias de caráter funcional nomeadamente movimentos imprevistos nos aparelhos de apoio e vibrações excessivas.

- **Trabalhos de monitorização**

Nos últimos anos tem-se vindo a tomar consciência da importância da verificação experimental das condições de segurança e da operacionalidade das obras de maior dimensão, através de adequados trabalhos de monitorização durante e após a construção.

Os trabalhos de monitorização são úteis pois permitem avaliar *in situ* a integridade das estruturas bem como a sua durabilidade, ou seja, conhecendo o seu estado, é possível detetar precocemente eventuais anomalias, de modo a intervir atempadamente evitando assim situações que possam comprometer a segurança dos utilizadores.

Uma monitorização consiste na aquisição de registos contínuos que possibilitem analisar e estudar o comportamento da estrutura quer na fase de construção quer na fase de utilização.

Na fase de construção, a monitorização permite registos como o controlo dos materiais, a medição de deformações e tensões, enquanto na fase de utilização o sistema de monitorização deverá incluir instrumentação das seções e elementos mais significativos da estrutura. A introdução de sensores nas estruturas permite detetar em qualquer instante todo tipo de situação anómala e acompanhamento da sua evolução, nomeadamente:

- a) **Potenciais de corrosão:** A diminuição do potencial de corrosão do aço aumenta a probabilidade deste se encontrar despassivado. A determinação do potencial de corrosão do aço no betão é efetuado com a colocação de um elétrodo de referência próximo da armadura.
- b) **Velocidade de corrosão:** É o parâmetro que melhor permite obter informações sobre a evolução da corrosão. A determinação da velocidade de corrosão é efetuada com a utilização de sensores externos ou até embebidos no betão.
- c) **pH e teor de cloretos:** são utilizados sensores específicos de medida do pH e do teor de cloretos. As medidas destes sensores são dependentes da temperatura pelo que a sua instalação deve ser acompanhada de sensores de temperatura. Estes sensores devem ser previamente calibrados em soluções padrões de alcalinidade e de cloretos
- d) **Resistividade do betão:** depende da pasta de cimento, do teor em água, da contaminação iónica do betão e da porosidade dos agregados. A alta velocidade de corrosão e baixa resistência à penetração de agentes agressivos estão associadas a baixas resistividades do betão. As medidas de resistividade no betão podem ser efetuadas através da utilização de corrente alternada.
- e) **Temperatura:** é fundamental na interpretação do estado de corrosão, e a sua simples mediação consiste na utilização de sensores apropriados embebidos no betão (e.g. sondas termopares do tipo Pt 100)
- f) **Humidade:** este parâmetro desempenha um papel importante em todos os processos de deterioração do betão e das armaduras. Utilizam-se sensores de humidade introduzidos em orifícios do betão.
- g) **Deformação:** além dos métodos de cálculo, pode-se determinar as deformações de todas as estruturas quando estas encontram-se submetidas a determinadas

ações, através de trabalhos de monitorização e com o recurso de extensómetros. Com o uso deste equipamento, é possível identificar deformações excessivas ou inesperadas de modo a idealizar-se técnicas interventivas. Na RAM temos o caso da monitorização da temperatura na ponte de Socorridos, em que são utilizados extensómetros de corda vibrante que medem as deformações do respetivo tabuleiro em betão

- h) **Deslocamento:** a medição deste parâmetro é efetuada por uma variedade de equipamentos, dos quais destacam-se os defletómetros-LVDTs (designados também por transdutores de deslocamentos). Este equipamento, além dos deslocamentos também medem indiretamente parâmetros tais como forças e pressões.
- i) **Forças:** a medição deste parâmetro é efetuada por transdutores de força em que pela ação que a força exerce, é medido a deformação exercida. Estes tipos de transdutores podem ser classificados consoante o tipo de sensor utilizado, nomeadamente mecânico, elétrico ou piezo-elétrico.
- j) **Pressão:** este parâmetro está associado a estruturas enterradas em maciços e o equipamento que se utiliza para a medição da pressão no interior do maciço ou na interação maciço-estrutura é designado por células de pressão. Estas células podem ser encastradas na própria estrutura durante a fase de betonagem.
- k) **Aceleração:** A aceleração do solo provocada pela ação do sismo resulta em ações dinâmicas sobre elementos estruturais, por este motivo é importante medir este parâmetro através de um sistema de monitorização de forma a determinar a resposta da estrutura perante as acelerações. Estas acelerações são medidas através de sensores designados por acelerómetros.

A utilização combinada de vários tipos de sensores apresenta uma boa solução na monitorização das estruturas.

4.6. Inspeção Subaquática

Este tipo de inspeção é realizado apenas nos casos em que existam elementos submersos e implica o recurso a técnicas de sondagem subaquática e a pessoal

Comentado [RJ6]: Penso que está muito extenso, será melhor retirar? Ou falar apenas dos 2 tipos de monitorização que é efetuado na Madeira: extensómetros e temperatura?

especializado em mergulho. Este tipo de inspeção não é abordado nesta dissertação visto que na Região Autónoma da Madeira não é relevante, na medida em que existw linhas de água de pequena importância (i.e. ribeiras), em que normalmente os maciços de fundação dos apoios intermédios (quando existem) não se encontram submersos.

4.7. Modelo do ciclo das inspeções

As inspeções devem manter uma periodicidade regular, salvo em condições excecionais, nomeadamente acidentes ou uma inspeção que detete uma anomalia mais grave e seja necessário requerer uma inspeção complementar.

A primeira inspeção deve ser feita na própria concessão da obra ou no momento em que o sistema de gestão da ponte é iniciado, e consiste no levantamento de todos os dados relacionados com a respetiva obra de arte, normalmene coincide com o inventário.

As inspeções de rotina devem ser efetuadas num período de um ano, repetindo-se nos seguintes quatro anos, culminando num quinto ano, numa inspeção principal, de modo a completar-se um ciclo de inspeção. Este ciclo só é interrompido quando existe incertezas na avaliação ou na deteção de anomalias mais graves, nesta situação o inspetor deverá solicitar a realização de uma inspeção principal ou até mesmo de uma inspeção especial.

As inspeções principais devem ser realizadas no fim de cada ciclo, ou seja, a cada cinco anos é efetuado uma avaliação do estado de conservação e um registo detalhado das condições de funcionamento da ponte de modo a detetar todas as anomalias mais graves instaladas que possam comprometer o bom desempenho dos componentes da ponte, quer ao nível de durabilidade quer a nível de segurança. Do mesmo modo que pode acontecer numa inspeção de rotina, sempre que surgir incertezas no diagnóstico, nomeadamente na causa, na extensão ou na evolução da anomalia, deve ser solicitado a realização de uma inspeção especial de forma a realizarem-se ensaios que permitem avaliar com mais rigor e segurança, o estado real da estrutura.

As inspeções especiais não seguem uma periodicidade definida, pois devem ser realizadas após ter sido detetado uma anomalia potencialmente grave que necessite uma análise mais profunda.

Na figura seguinte, está representado uma proposta para um modelo de um ciclo de inspeções de uma obra de arte durante cinco anos, estes ciclos devem realizar-se até ao fim da vida útil da obra de arte. Refira-se que este modelo não deverá servir como regra, apenas como exemplo indicativo a seguir no planeamento das respetivas inspeções, isto porque a especificidade do comportamento do material, bem como a incerteza e os condicionamentos da envolvente (e.g. acidentes e desastres naturais), não permitem definir períodos certos de inspeção.

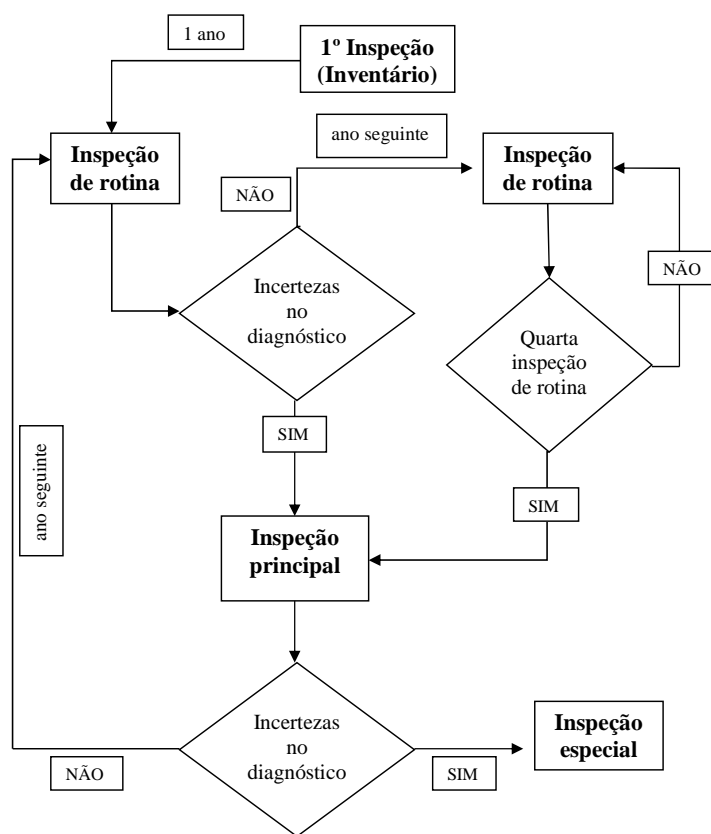


Figura 4-6 Fluxograma proposto para um modelo de ciclo de inspeções

5. ESTUDO E ANÁLISE DE UM CONJUNTO DE OBRAS DE ARTE

Neste capítulo, analisou-se um conjunto de obras de arte existentes na Região Autónoma da Madeira, procurando identificar as anomalias mais frequentes, as suas causas mais prováveis, bem como o estado de manutenção e o estado de conservação que essas obras de arte encontram-se, através dos relatórios de inspeção disponibilizados pela Betar.

5.1. Amostra dos casos de estudo

As obras de arte selecionadas correspondem a um subconjunto de obras inseridas na rede concessionada à Via Expresso, inspecionadas pela Betar no âmbito da inspeção de rotina efetuada em 2013 (com trabalhos de manutenção propostos para 2014) e da última inspeção principal efetuada em 2010.

Numa primeira amostra (*vide* capítulo 5.2), selecionou-se um determinado grupo obras de arte. A seleção deste grupo foi efetuada seguindo apenas o critério do ano de construção, isto é, selecionou-se todos os tipos de obras de arte construídas após o ano civil de 1999, de modo a obter uma amostra mais homogénea em termos de idade de construção e material, ou seja, focando o estudo para os vários tipos de obra de arte com uma idade aproximada (aproximadamente 15 anos) e material de construção praticamente o mesmo (betão armado e ou pré-esforçado).

Numa segunda etapa (*vide* capítulo 5.3) o grupo foi restringido a uma amostra de 36 obras de arte, correspondendo a pontes e viadutos, de modo a efetuar-se uma análise mais profunda do tipo de obras de arte tratadas no âmbito do tema da dissertação. A caracterização desta amostra deve ser consultada no anexo D.

5.2. Tipos de obras de arte

O presente capítulo reside na análise de relatórios de inspeção de rotina e de relatórios de inspeção principais de obras de arte distribuídas pela região, em que o critério aplicado para filtrar as respetivas obras foi o seguinte:

- Obras de arte com ano de construção superior a 1999

O resultado desse filtro foi uma amostragem com 138 obras de arte, tendo em comum o facto de serem em betão armado e ou pré-esforçado, que correspondia a análise pretendida no âmbito do trabalho. Este universo particular de 138 obras de arte é composto por: 52 túneis, 32 pontes, 27 passagens hidráulicas, 9 passagens superiores, 6 passagens de peões, 6 viadutos, 3 passagens agrícolas e 3 passagens inferiores.

No gráfico seguinte, indica-se as diferentes percentagens de acordo com os tipos de obras de arte analisadas.

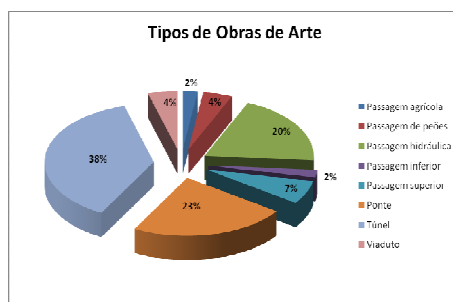


Figura 5-1 Tipos de obras de arte analisadas

5.2.1. Estados de manutenção e trabalhos de manutenção

Os estados de manutenção são atribuídos de acordo com a necessidade de efetuar-se limpezas (trabalhos correntes) ou pequenas reparações (trabalhos não correntes) nas obras de arte, em que são avaliados todas as componentes de cada obra de arte. Se houver a necessidade de efetuar-se algum destes trabalhos, à componente é atribuída uma classificação de “Mau”, caso contrário é atribuída a classificação de “Bom”.

Com base nos relatórios de inspeção de rotina de 2013, analisou-se os respetivos estados de manutenção das obras de arte e os trabalhos de manutenção recomendados para 2014.

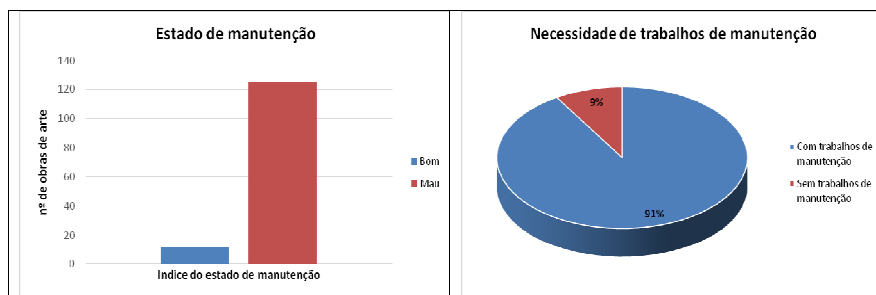


Figura 5-2 Estado de manutenção e necessidade de trabalhos

Após a análise da Figura 5-2, constata-se que a maioria das obras de arte estão classificadas com um mau estado de manutenção e consequentemente com necessidades de intervenções de manutenção na maioria das obras de arte (91%).

Este dado é discutível porque basta haver uma componente avaliada com um mau estado de manutenção, que é atribuída à generalidade da obra de arte o estado de manutenção “Mau”, não representado da melhor maneira o estado geral de manutenção de cada obra de arte.

Para as 138 obras de arte foram atribuídos trabalhos de manutenção para serem efetuados ao longo do ano de 2014, esses trabalhos foram contabilizados e ordenados na tabela seguinte.

TRABALHOS DE MANUTENÇÃO ATRIBUÍDOS	(%)
Limpeza de superfícies horizontais e verticais	22,17
Pintura da superfície metálica com corrosão pontual, em zonas localizadas	15,37
Limpeza de taludes	11,08
Preenchimento ou selagem de fendas na via	10,58
Limpeza de órgãos de drenagem	10,08
Remoção de pregos de cofragem ou varões	6,80
Limpeza de via	6,30
Limpeza de passeios	3,53
Limpeza de juntas de dilatação	2,52
Preenchimento ou selagem de buracos em revestimento de via, com betuminoso	2,27
Preenchimento ou selagem de juntas de dilatação ou construção entre elementos de betão	2,27
Pintura da superfície de betão ou superfícies rebocadas em zonas localizadas	2,02
Preenchimento ou selagem de juntas entre elementos de revestimento ou na transição	1,51
Reaperto ou verificação de aperto de fixações, em guardas	1,26
Outros trabalhos de manutenção	2,27

Tabela 5-1 Trabalhos de manutenção atribuídos

Da tabela anterior, destaca-se os vários trabalhos de limpeza atribuídos perfazendo mais de metade do tipo de trabalhos de manutenção a ser efetuado ($\approx 56\%$), trabalhos de pintura ($\approx 18\%$) e pequenas reparações, nomeadamente preenchimento ou selagem de diversos elementos ($\approx 17\%$). Refira-se ainda a persistência de anomalias resultantes do processo construtivo, mais propriamente a existência de pregos de cofragem ou varões ($\approx 7\%$).

Causas prováveis

5.2.2. Estados de conservação e trabalhos de reparação

Os estados de conservação como já foi referido anteriormente são classificações quantitativas que traduzem as condições de desgaste, de deterioração e de funcionamento em que se encontra cada obra de arte. É através das suas avaliações que são atribuídos trabalhos de acordo com a necessidade de efetuar-se reparações ou substituições nas obras de arte, em que são avaliados todas as componentes de cada obra de arte.

Com base nos relatórios de inspeção principal de 2010, analisou-se os respetivos estados de conservação das obras de arte e os trabalhos de reparação atribuídos.

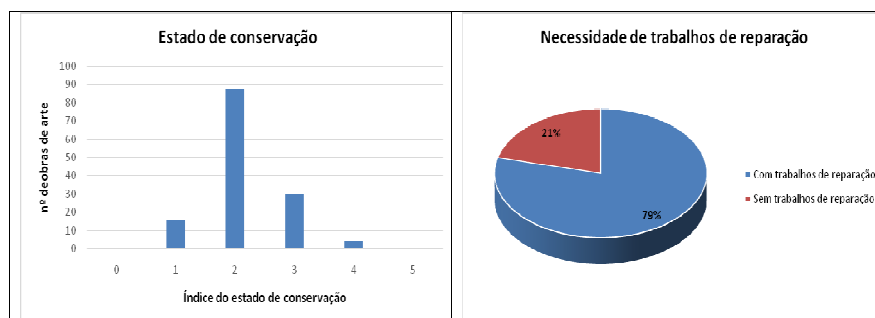


Figura 5-3 Estado de conservação e necessidade de trabalhos

Após a análise da Figura 5-3, constata-se que a maioria das obras de arte (87) estão avaliadas com um estado de conservação “2” . sendo este um estado de conservação razoável, onde foram detetados defeitos com pouca importância para o comportamento e a durabilidade das obras em questão.

Em relação aos trabalhos de reparação, era necessário efetuar intervenções a 79% das obras de arte, sendo que nessa maior parte não se justificava uma intervenção prioritária, apenas 4 obras de arte necessitavam de trabalhos de reparação prioritários a curto prazo (1 a 2 anos), pois foram classificados com estado de conservação “4”, nível conservação muito mau, com funcionamento defeituoso de alguns componentes (com importância na durabilidade e o no comportamento) não cumprindo o nível de serviço para o qual foi concebido.

Das 138 obras de arte analisadas, em 79% foram atribuídos trabalhos de reparação com recomendação no tempo de intervenção mediante a classificação do estado de conservação, sendo efetuadas essas reparações ao longo dos anos seguintes, esses trabalhos foram contabilizados e ordenados na tabela seguinte.

TRABALHOS DE REPARAÇÃO ATRIBUÍDOS	%
Preenchimento ou selagem por injeção de fendas ou fissuras, no betão	38,95
Reparação do betão em profundidade (>30mm), limpando e substituindo ou reforçando as armaduras, aplicando argamassa	10,11
Substituição ou colocação de bueiros, em muros ou encontros	7,49
Preenchimento ou selagem superficial de juntas de fendas ou fissuras, no betão	7,12
Pintura de superfície metálica com decapagem total	6,37
Restabelecimento ou reconstrução do revestimento de via, betuminoso	5,62
Substituição ou colocação de pingadeira em tabuleiros	4,12
Reparação do betão em profundidade (>30mm), limpando e substituindo ou reforçando as armaduras, aplicando betão	2,62
Substituição ou colocação de tubagem de drenagem do tabuleiro	1,87
Restabelecimento ou reconstrução de taludes com pedra arrumada ou solos selecionados	1,87
Pintura da superfície metálica em guarda corpos incluindo preparação de superfície (com decapagem total), geral	1,87
Reparação de aparelhos de apoio	1,87
Reparação de sistema de iluminação geral	1,87
Substituição ou colocação de caleiras de drenagem sob a junta de dilatação	1,50
Substituição ou colocação de juntas de dilatação em neoprene reforçado, com um deslocamento até ± 80 mm	1,50
Substituição ou colocação de sumidouros/sarjetas e gárgulas de drenagem do tabuleiro	1,50
Outros trabalhos de reparação	3,75

Tabela 5-2 Trabalhos de reparação atribuídos

Da tabela anterior, destaca-se o preenchimento ou selagem no betão em quase metade do tipo de trabalhos de reparação a ser efetuado ($\approx 46\%$), substituição de variados elementos ($\approx 18\%$) e reparação do betão em profundidade ($\approx 13\%$).

Causas prováveis

5.3. Pontes e Viadutos

No presente capítulo analisou-se em pormenor os relatórios de inspeção de rotina e os relatórios de inspeção principal de um subconjunto de obras de arte, distribuídas pela região, em que os critérios aplicados para filtrar as respetivas obras foram:

- Obras com ano de construção superior a 1999
- Tipo de Obra Igual a “Ponte” ou “Viaduto”

O resultado desse filtro foi uma amostragem com 36 obras de arte, tendo em comum o facto de serem em betão armado e ou pré-esforçado, que correspondia a análise pretendida no âmbito do trabalho. Este universo particular de 36 obras de arte é composto por 30 pontes e 6 viadutos.

5.3.1. Estado de manutenção

No seguimento dos resultados obtidos em 5.2.1., uma grande maioria das ponte e viadutos seguem a mesma tendência que as obras de arte em geral, neste caso particular apenas 3% apresentavam-se em bom estado de manutenção e não necessitavam de trabalhos de manutenção, como podemos verificar na figura seguinte.

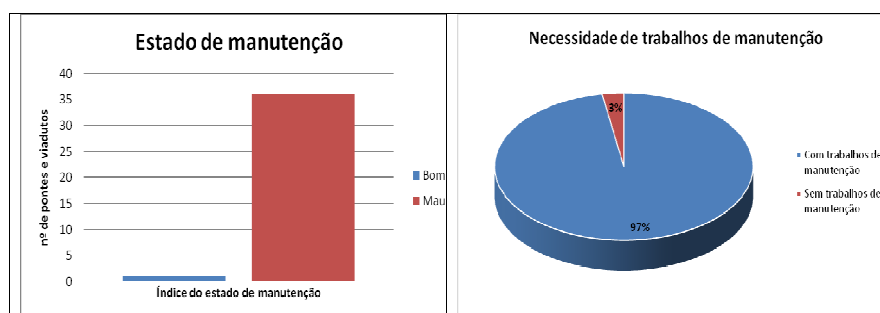


Figura 5-4 Estado de manutenção em pontes e viadutos e necessidade de trabalhos

Este resultado esmagador é explicado pela sensibilidade do sistema de avaliação utilizado, ou seja, a necessidade de efetuar-se trabalhos de manutenção num único

componente (e.g. limpeza num encontro causado pela acumulação de sedimentos), é suficiente para classificar a ponte ou viaduto com estado de manutenção mau.

5.3.2. Comparação dos estados de manutenção atribuídos pelo autor com os atribuídos nos relatórios da Betar

Comentado [RJ7]: A realização deste subcapítulo está dependente da sua resposta ao comentário anterior

5.3.3. Estado de conservação

Com base nos relatórios de inspeção principal de 2010, analisou-se os respetivos estados de conservação das pontes e viadutos e os trabalhos de reparação recomendados, em que são através destas avaliações que são atribuídos trabalhos de reparação de acordo com a necessidade das pontes e viadutos.

Os estados de conservação atribuídos ao subconjunto de pontes e viadutos refletem a tendência das obras de arte em geral verificadas em 5.2.2.

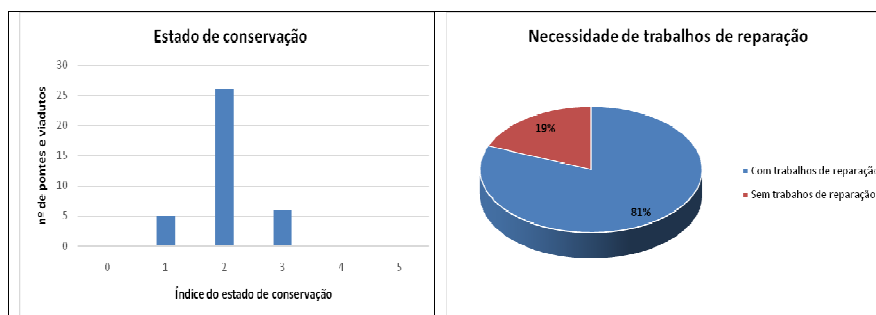


Figura 5-5 Estado de conservação em pontes e viadutos e necessidade de trabalhos

Após a análise da Figura 5-5, constata-se que a maioria das pontes e viadutos (26) estão avaliadas com um estado de conservação “2”, sendo este um estado de conservação razoável, onde foram detetados defeitos com pouca importância para o comportamento e a durabilidade das obras em questão.

Em relação aos trabalhos de reparação, foi necessário efetuar-se intervenções a 81% das pontes e viadutos, sendo que a maior parte não se justificava uma intervenção prioritária, apenas em 6 obras foram identificados componentes com funcionamento defeituoso, necessitando de trabalhos de reparação a médio prazo (3 a 5 anos), pois foram classificados com estado de conservação “3”.

Saliente-se que nenhuma das obras dos casos de estudo em particular, apresenta estado de conservação “4” e “5”, refletindo em geral estados de conservação aceitáveis para a idade das obras em questão, cumprindo em geral o nível de serviço para as quais foram concebidas, oferecendo segurança aos utentes.

5.3.4. Custos atribuídos aos componentes

A análise dos relatórios de rotina das pontes e viadutos em 2013, permitiu a atribuição de trabalhos de manutenção a serem realizados em 2014 e os respetivos custos associados.

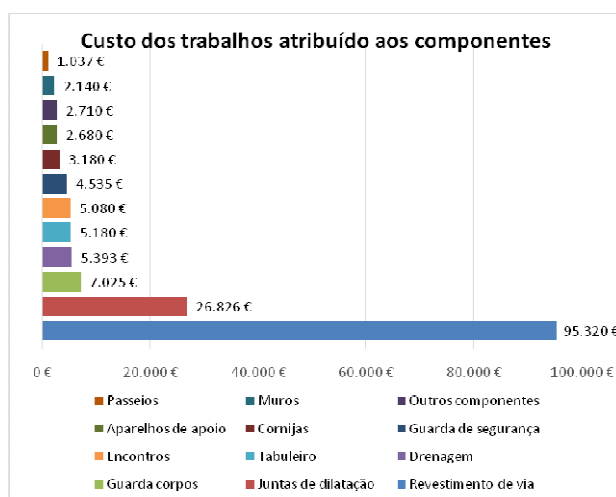


Figura 5-6 Custo dos trabalhos atribuídos por componente

Através da figura anterior constatou-se que para as 36 pontes e viadutos analisados, o revestimento de vias foi o componente que obteve os maiores custos de manutenção associados ($\approx 95.000\text{€}$). Este resultado é compreensível pelo facto deste componente estar diretamente exposto (em área significativa) às condições ambientais, aos agentes erosivos e ao desgaste provocado pela circulação rodoviária.

Em segundo lugar foram as juntas de dilatação que comportavam um custo significativo ($\approx 27.000\text{€}$), este resultado é obtido devido às anomalias verificadas com o revestimento de vias, na medida em que foram necessários trabalhos de preenchimento/selagem no remate entre as juntas de dilatação e o pavimento.

Os restantes componentes tiveram custos relativamente próximos e residuais.

5.3.5. Análise individual dos componentes

Segue-se um estudo por componente, em que foram registadas as anomalias visíveis e as suas causas mais prováveis nas pontes e nos viadutos.

De forma a fazer uma seriação aos componentes individualmente analisados optou-se por abordar os componentes que acarretaram maiores custos de retificação, neste sentido pretende-se analisar individualmente o revestimento de vias, os encontros, as juntas de dilatação, os guarda corpos, os sistemas de drenagem, o tabuleiro e os aparelhos de apoio.

5.3.5.1. Encontros

Nos encontros das obras analisadas, verificou-se através do gráfico seguinte que a limpeza de superfícies horizontais e verticais representava mais de metade dos trabalhos de manutenção atribuídos (67%). A ação da água proveniente da chuva quando mal encaminhada provoca anomalias nas superfícies de betão. Em consequência deste acontecimento o segundo trabalho de manutenção com maior atribuição estava relacionado com esta situação, nomeadamente com a execução de pendentos para drenagem de água em superfícies horizontais (17%).

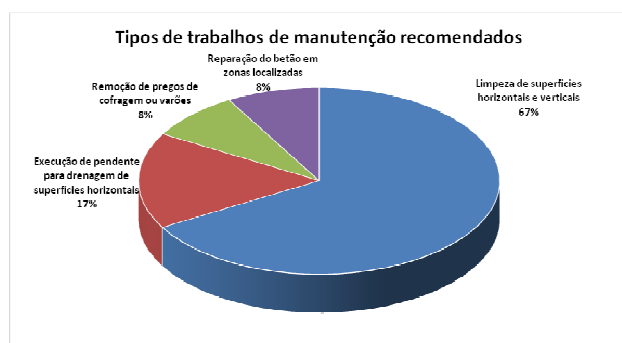


Figura 5-7 Trabalhos de manutenção nos encontros

Através dos trabalhos atribuídos, verifica-se que as principais anomalias resultantes da falta de manutenção dos encontros são o aparecimento de:

- acumulação de água e/ou sedimentos (Figura 5-8 a);
- manchas;

- escorrências (Figura 5-8 b);
- eflorescências.



a. Acumulação de água na mesa do encontro

b. Escorrência pelo paramento vertical

Figura 5-8 Anomalias nos encontros da OA 4 (Betar, Inspeção de Rotina, 2013)

As causas mais comuns para o aparecimento das anomalias supracitadas são:

- erros de execução;
- drenagem deficiente ou ausência de órgãos drenagem;
- falta de estanquidade da junta de dilatação junto ao encontro, acumulando água das chuvas sobre a mesa do encontro e escorrendo em seguida pelas suas paredes;
- falta de manutenção.

Em relação aos trabalhos de reparação atribuídos nas inspeções principais, o trabalho de reparação com maior atribuição foi o preenchimento ou selagem por injeção de fendas ou fissuras no betão (56%) e associado a este trabalho, a reparação do betão em profundidade (11%), como podemos ver no gráfico da figura seguinte.

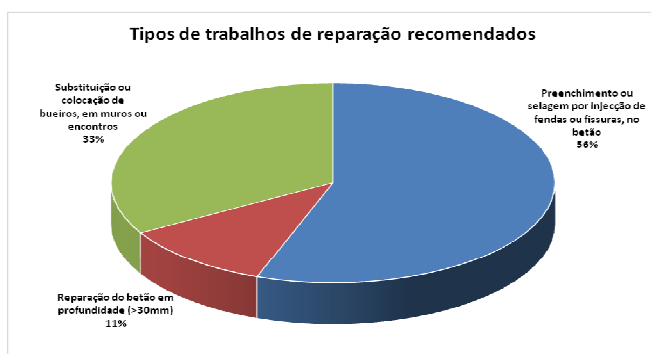


Figura 5-9 Trabalhos de reparação nos encontros

Através dos principais trabalhos de reparação recomendados, identifica-se as principais anomalias nos encontros:

- fendilhação (Figura 5-10 b)
- descasque no betão
- exposição de armaduras (Figura 5-10 a)



a. Degradação do betão com exposição de armaduras.

b. Fenda (0,5 mm) no paramento vertical .

Figura 5-10 Anomalias nos encontros da OA 4 (Betar, Inspeção Principal, 2010)

As causas associadas a estas anomalias são:

- erros de execução (e.g. defeitos de betonagem);
- retração do betão;
- corrosão das armaduras;
- recobrimento insuficiente.

5.3.5.2. Revestimento de via

Através dos componentes analisados, verificou-se que é essencialmente a sua degradação, através de buracos ou fendas no pavimento betuminoso, a principal anomalia verificada, sendo atribuído principalmente o trabalho de preenchimento ou selagem de fendas ou buracos de betume (Figura 5-11). Nos trabalhos de manutenção esses trabalhos perfaziam cerca de 84% da totalidade dos trabalhos atribuídos, restando 14% para trabalhos de limpeza de via (nomeadamente vegetação e sedimentos acumulados). Nos trabalhos de reparação, o preenchimento ou selagem de fendas ou buracos representavam a totalidade dos trabalhos recomendados.

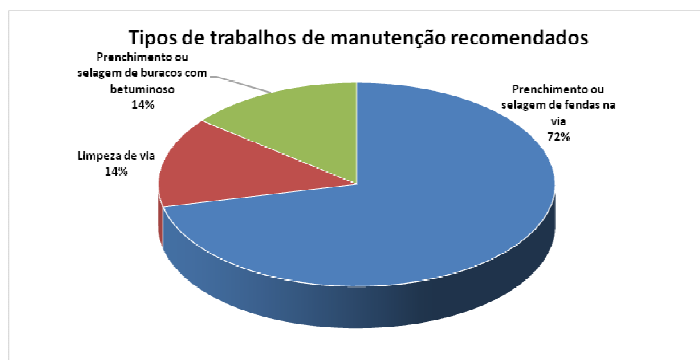


Figura 5-11 Tipos de trabalhos de manutenção em revestimento de vias

Através dos trabalhos atribuídos, verifica-se que as principais anomalias detetadas nas inspeções realizadas são:

- Fendas no revestimento da via, situada no tardo de um encontro (Figura 5-12 a)
- Buracos (descasques) na via (Figura 5-12 b);
- Degradação do pavimento, no remate entre o pavimento e a junta de dilatação;
- Infiltrações através do revestimento
- Acumulação de detritos e vegetação nas bermas das vias.



a. Fenda de alinhamento longitudinal

b. Fenda de alinhamento transversal e buraco

Figura 5-12 Anomalias identificadas nos revestimentos de via das OA 10 e 14 respetivamente (Betar, Inspeção de Rotina, 2013)

As causas mais comuns para o aparecimento das anomalias são:

- Depressão do pavimento (provocando fissuração em malha promovendo a infiltração de água para a zona no tardo de obra de arte)
- Assentamento do aterro

- Deterioração da camada de desgaste do betuminoso.

Saliente-se que deve-se ter atenção o coeficiente de atrito instalado na via, atendendo que é o componente que melhor traduz o conforto aos utentes e a sua maior ou menor segurança de utilização, o seu índice deve de respeitar os valores limite indicados nos caderno de encargo de cada obra.

5.3.5.3. Junta de dilatação

Através da análise das juntas de dilatação, verificou-se no gráfico da Figura 5-13, que o trabalho de manutenção que ocorre com maior frequência foi a sua limpeza, num total de 47% de trabalhos recomendados, seguido da substituição ou colocação de recobrimentos de fixação das respetivas juntas (33%), restando pequenos trabalhos de reparação nos módulos e na camada de transição das respetivas juntas.

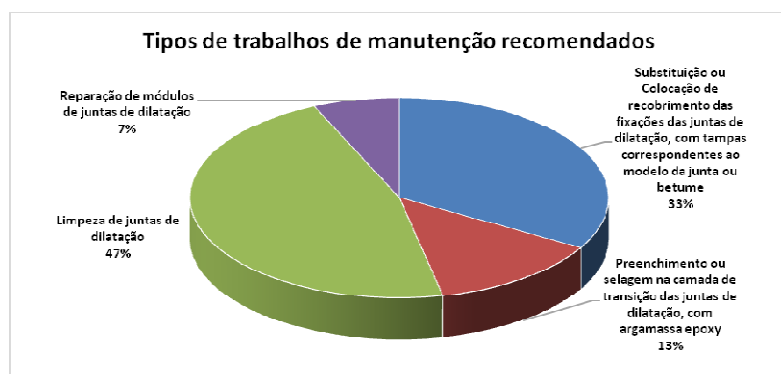


Figura 5-13 Tipos de trabalhos de manutenção em juntas de dilatação

Através dos trabalhos de manutenção atribuídos, verifica-se que as principais anomalias que deram origem aos respetivos trabalhos são:

- Acumulação de sedimentos (Figura 5-14 a);
- Ausência ou rotura de elementos de fixação (Figura 5-14 b)
- Deterioração (fendilhação) da camada de transição (Figura 5-14 b);
- Ausência ou deterioração do material de preenchimento das juntas.



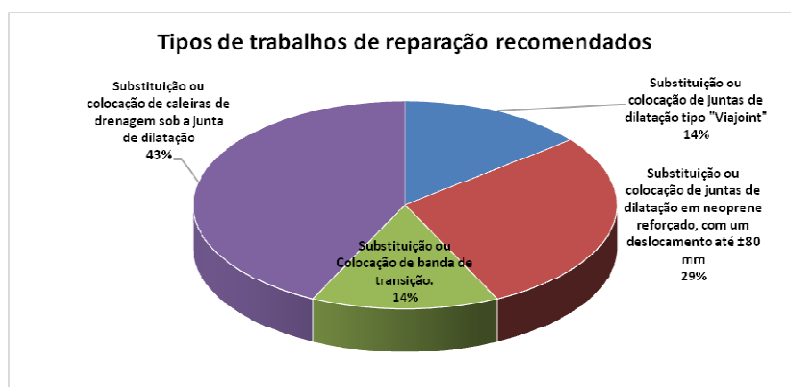
a. Acumulação de sedimentos

b. Ausência de alvéolos de fixação e fenda no remate entre a junta e a camada de transição

Figura 5-14 Anomalias nas juntas de dilatação das OA 14 e 1 respetivamente (Betar, Inspeção de Rotina, 2013)

A falta de manutenção e o desgaste dos elementos são as principais causas para as anomalias supracitadas

Em relação aos trabalhos de reparação atribuídos nas inspeções principais, o trabalho de reparação com maior frequência foi a colocação de caleira de drenagem sob a junta de dilatação seguido da substituição/colocação de juntas de dilatação (Figura 5-15)

**Figura 5-15 Tipos de trabalhos de reparação em juntas de dilatação**

Através dos principais trabalhos de reparação recomendados, constata-se que os trabalhos atribuídos estão relacionados com aspetos ligados à drenagem da água, nomeadamente substituição/colocação de caleiras de drenagem sob a junta (43% dos trabalhos atribuídos), este tipo de trabalho resulta devido à infiltração de água da pelo interior da junta, causando anomalias anteriormente verificadas nos encontros, nomeadamente escorrências (Figura 5-16 a) e eflorescências (Figura 5-16 b)



a. Manchas e escorrência b. Eflorescência

Figura 5-16 Vista interior dos encontros, com pormenores das junta da OA 15 (Betar, Inspeção de Rotina, 2013)

As causas associadas às anomalias referidas são devidas a:

- Falta de estanquidade;
- Ausência de elementos.

5.3.5.4. Guarda corpos

No componente guarda corpos, não existe distinção entre trabalhos de reparação e trabalhos de manutenção, pela que a sua análise baseou-se no última inspeção de rotina e nos trabalhos de manutenção propostos.

Os guarda corpos das obras analisadas, verificou-se através do gráfico seguinte que o trabalho de manutenção que teve maior frequência foi pintura das superfícies metálicas ($\approx 82\%$), restando trabalhos efetuados como por exemplo nos elementos de fixação (reaperto e reparação).

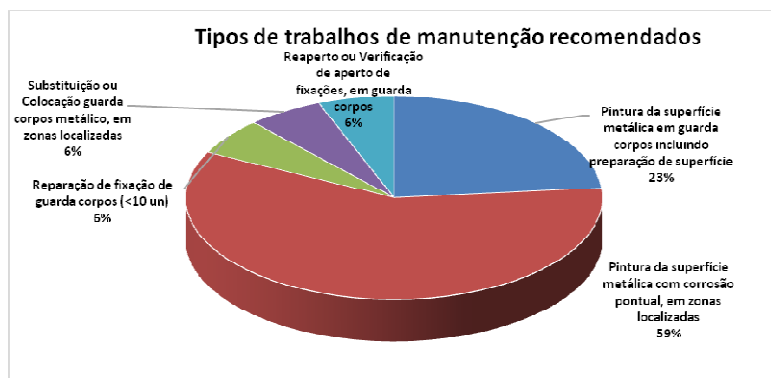


Figura 5-17 Tipos de trabalhos efetuados em guarda corpos

Através dos trabalhos atribuídos, verifica-se que as principais anomalias que podem ocorrer em guarda corpos são:

- Descasque pontual ou generalizado da pintura (Figura 5-18 a);
- Corrosão pontual ou generalizada da superfície metálica;
- Corrosão dos elementos de fixação (Figura 5-18 b);
- Deterioração no betão (acrotélios);
- Desalinhamento dos perfis.



a. Descasque pontual



b. Corrosão dos elementos de fixação

Figura 5-18 Anomalias em guarda corpos da OA 10 (Betar, Inspeção de Rotina, 2013)

As causas mais comuns para o aparecimento das anomalias detetadas na inspeção de rotina são:

- Má colocação dos elementos;
- Má fixação das bases;
- Embate de viaturas.

5.3.5.5. Sistema de drenagem

À semelhança do componente anterior, nos sistemas de drenagem não á distinção entre trabalhos de manutenção e de reparação, pela que a sua análise efetuada baseou-se na inspeção de rotina e nos respetivos trabalhos de manutenção recomendados.

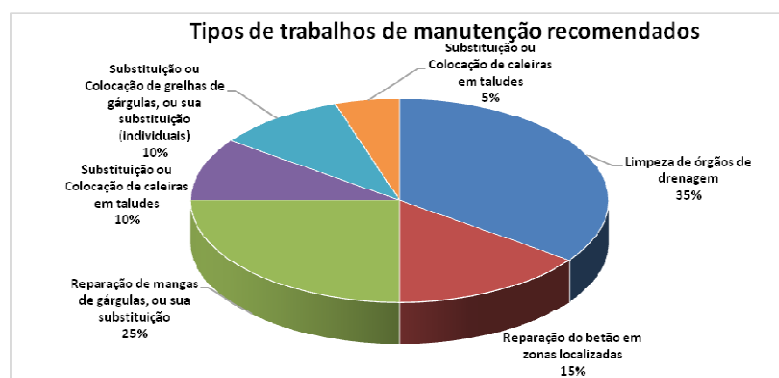


Figura 5-19 Tipos de trabalhos efetuados em sistemas de drenagem

O trabalho que teve maior contribuição foi limpeza de órgãos de drenagem (37%), seguido de trabalhos de reparação ou substituição de elementos do sistema de drenagem (tubos de queda, mangas, caleiras e sumidouros). Saliente-se que o trabalho reparação do betão em zonas localizadas resulta da deficiente drenagem do sistema, permitindo a infiltração e escorrência de água no betão, havendo necessidade de reparação local.

Através dos trabalhos atribuídos, verifica-se que as principais anomalias relacionadas com deficiente drenagem de água são:

- Escorrência de água pelas superfícies do betão;
- Infiltração de água no interior betão;
- Degradação do betão (consequência);
- Corrosão das armaduras.



a. Ausência de tubos de queda b. Obstrução no sumidouro

Figura 5-20 Anomalias resultantes do incorreto funcionamento do sistema de drenagem na OA3 (Betar, Inspeção de Rotina, 2013)

As causas mais comuns para o aparecimento das anomalias detetadas na inspeção de rotina são:

- Falta de manutenção;
- Obstrução de sedimentos ou vegetação nos elementos de drenagem (Figura 5-20 b);
- Conceção incorreta do sistema de drenagem, inadequado;
- Ausência de elementos ou órgãos de drenagem, (Figura 5-20 b);
- Falta de ligação de caleiras, valetas ou tubagens;

Saliente-se que este componente é fundamental na manutenção e conservação de uma obra de arte na medida em que a sua ausência ou funcionamento incorreto pode provocar muitas anomalias em quase todos os componentes de uma obra de arte, ou seja, não é diretamente o sistema de drenagem o responsável pela deterioração, mas o facto deste não cumprir a sua função, impossibilitando um correto encaminhamento da água pluvial.

5.3.5.6. Tabuleiro

As anomalias verificadas nos tabuleiros, encontram-se praticamente na face inferior do tabuleiro ou no seu interior, visto que na face superior está o revestimento de via.

Os tabuleiros das obras analisadas, verificou-se através do gráfico da imagem seguinte que o trabalho de manutenção mais recomendado nas inspeções de rotina foi limpeza de superfícies de superfícies horizontais e verticais (62%), este trabalho resulta das anomalias verificadas com anteriormente com o componente sistema de drenagem, nomeadamente com a falta ou o deficiente encaminhamento de água. Em seguida segue o

trabalho de reparação de betão em zonas localizadas (25%) e remoção de varões ou pregos de cofragem (13%).

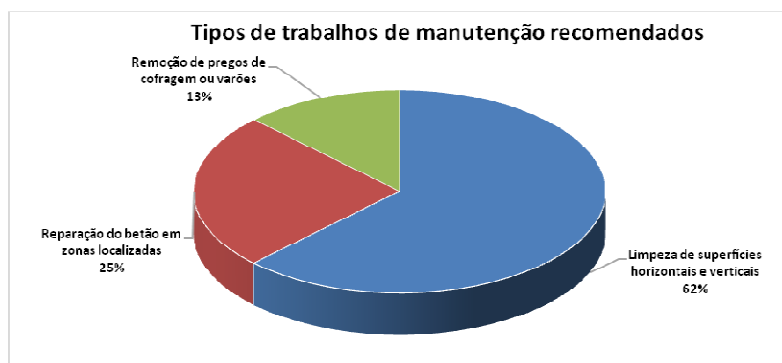


Figura 5-21 Tipos de trabalhos de manutenção atribuídos aos tabuleiros

Através da análise do gráfico da figura 5-21, dos trabalhos atribuídos, verifica-se que as principais anomalias resultantes da falta de manutenção do tabuleiro são o aparecimento de:

- Manchas, escorrência e eflorescência;
- Descasque de betão (Figura 5-22 b);
- Existência de pregos de cofragem ou varões (Figura 5-22 a)



a. Varões não removidos



b. Descasque de betão na face da nervura

Figura 5-22 Anomalias no tabuleiro da OA9 (Betar, Inspeção de Rotina, 2013)

As causas mais comuns para o aparecimento das anomalias detetadas na inspeção de rotina são:

- Erros de execução (cofragem, betonagem e descofragem)
- Drenagem insuficiente;
- Retração e reações expansivas do betão;

- Passagem de água pelo bordo do tabuleiro por falta de pingadeira;
- Molhagem da face inferior do tabuleiro por inexistência de mangas de queda
- Falta de manutenção.

Em relação aos trabalhos de reparação atribuídos nas inspecções principais, o trabalho de reparação com maior atribuição vai de encontro aos trabalhos de manutenção recomendados ou seja a colocação de pingadeira (57%), de resto, os trabalhos de reparação estão relacionado com deterioração do betão, nomeadamente com a reparação do betão em profundidade.

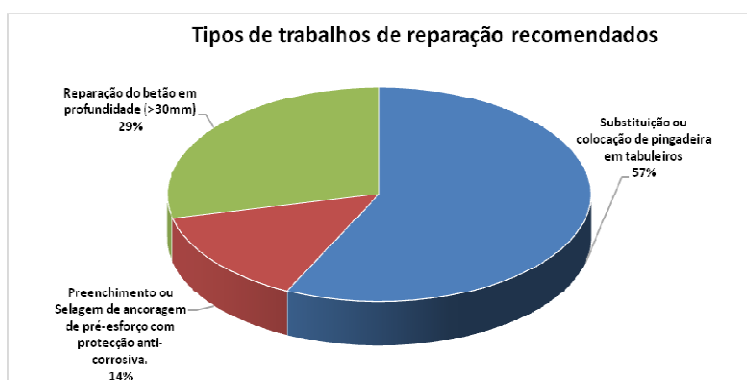


Figura 5-23 Tipos de trabalhos de reparação em tabuleiros

Através dos principais trabalhos de reparação recomendados, identifica-se as principais anomalias no tabuleiro:

- Deformações (não significativas, sendo acompanhadas permanentemente);
- Exposição de armaduras;
- Danos nas ancoragens de pré-esforço (Figura 5-24 b);
- Escorrência e eflorescência;
- Fendilhação (Figura 5-24 a).



a. Fenda de alinhamento diagonal com abertura de 0,15 mm



b. Cabos de “reserva” de pré-esforço, com corrosão

Figura 5-24 Anomalias nos tabuleiros da OA 4 e OA 14 (Betar, Inspeção Principal, 2010)

As causas associadas às anomalias detetadas são:

- Erros de execução (cofragem, betonagem e descofragem)
- Recobrimento insuficiente;
- Retração e reações expansivas do betão;
- Drenagem deficiente.

5.3.5.7. Aparelho de apoio

Nos aparelhos de apoio, o único trabalho manutenção verificado foi limpeza e manutenção do respetivo componente, neste trabalho está englobada as seguintes tarefas: remoção de detritos, pinturas pontuais nos locais de corrosão e lubrificação das superfícies deslizantes. Este trabalho é efetuado sempre que houver acumulação de sedimentos e detritos no equipamento ou existência de pontos de corrosão.

Em relação aos trabalhos de reparação atribuídos nas inpeções principais, o trabalho de reparação com maior frequência foi pintura de superfícies metálicas, para corrigir a corrosão dos blocos de neoprene e todos os elementos metálicos. O trabalho reparação, surge quando existe degradação da base do aparelho de apoio (plinto). Em último caso, é recomendado o trabalho substituição do aparelho de apoio, este trabalho surge perante deformações e deslocamentos excessivas.

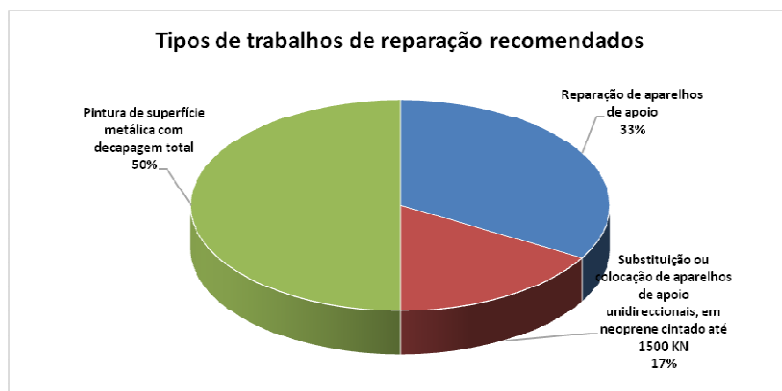


Figura 5-25 Tipos de trabalhos executados nos aparelhos de apoio

Através dos principais trabalhos de reparação recomendados, identifica-se as principais anomalias dos aparelhos de apoio:

- Acumulação de sedimentos e detritos;
- Corrosão de elementos metálicos (Figura 5-26 b);
- Deslocamento ou deformação excessiva;
- Fendilhação ou rotura por esmagamento do plinto (Figura 5-26 c);
- Rotura do neoprene (Figura 5-26 a).



a. Esmagamento do anel de neoprene

b. Corrosão das chapas de embasamento

c. Fissuração do plinto

Figura 5-26 Anomalias nos aparelhos de apoios de OA 8, OA 34 e OA 1 respetivamente (Betar, Inspeção Principal, 2010)

As causas associadas às anomalias detetadas são:

- Falta de manutenção
- Infiltrações
- Compressões excessivas

Saliente-se a importância de uma correta recomendação dos trabalhos retificativos para os aparelhos de apoio, isto porque o funcionamento incorreto deste tipo de componente, afeta o normal funcionamento dos restantes componente, podendo implicar anomalias com elevados custos de reparação

5.3.6. Análise combinada dos componentes

Segue-se um estudo combinado dos componente, ou seja, agrupou-se um conjunto de componentes, todos com uma característica em comum, constituídos pelo material betão armado. Saliente-se que também foram incluídos componentes cujos alguns elementos também são constituídos pelo material de construção em questão. Neste sentido, analisou-se os trabalhos de reparação efetuados para os seguintes seguintes componentes:

- Apoios intermédios
- Cornijas
- Encontros
- Guarda corpos (acrotélio)
- Guarda de segurança (lancil)
- Muros
- Tabuleiro

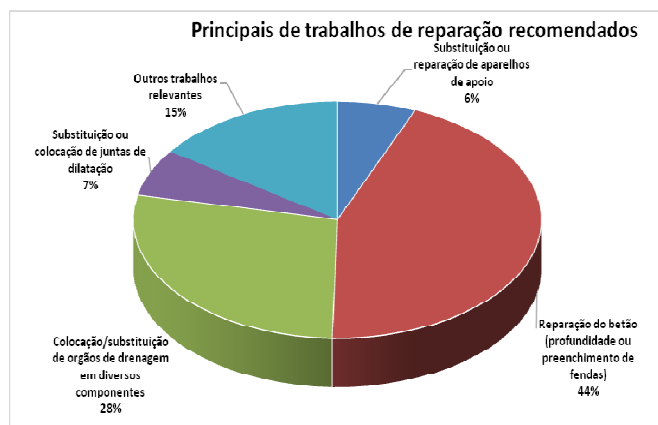


Figura 5-27 Principais trabalhos de reparação efetuados em elementos de betão armado

Feita a ordenação e análise dos dados que permitiu descrever a ocorrência de trabalhos efetuados em todos os elementos de betão armado, verifica-se através do gráfico

da Figura 5-27, que o trabalho que teve maior incidência foi a reparação do betão com cerca de 44%, entenda-se reparação, quer superficial por selagem de fendas e fissuras, quer em profundidade com limpeza ou substituição das armaduras. Esta situação verifica efectivamente que a anomalia que ocorre com mais frequência nos componentes constituídos por betão é sua fendilhação ou descasque. A fendilhação apresentada ocorre sob diversas formas, isto é, várias aberturas e alinhamentos, devido às diferentes causas e níveis de gravidade abordadas anteriormente.

Como segundo trabalho de reparação mais recomendado, com 28% surge a colocação ou substituição de órgãos de drenagem nos componentes em questão. Saliente-se que o trabalho atribuído resulta na deficiente ou inexistente drenagem da água, permitindo a infiltração e escorrência de água no betão. É comum observar-se estes tipos de anomalias principalmente nas consolas dos tabuleiros devido à inexistência de pingadeira e tubos de queda. Qualquer uma das situações que não possibilite a drenagem da água, existe a necessidade de reparação nos componentes, de modo a corrigir ou impedir o processo de deterioração.

Com menores percentagens mas muito importante, surge a substituição ou a reparação das juntas de dilatação ou aparelhos de apoio, cujas causas e anomalias foram descritas anteriormente. A não consideração dos trabalhos de reparação recomendados nestes componentes, resulta num agravamento das anomalias instaladas e consequentemente no estado de conservação das obras em questão.

Em suma, no conjuntos das 138 obras de arte analisadas, nenhuma apresentava anomalias que implicassem no imediato retirá-las de serviço, ou tão pouco que implicassem algum risco de colapso.

6. CONCLUSÕES

Durante a vida útil de uma ponte (i.e. período de tempo em que as propriedades do material apresentem condições mínimas de segurança e utilização) devem ser realizados diferentes tipos de inspeção dependendo das características da obra e das condições do meio envolvente para que seja possível efetuar-se um correto e rigoroso diagnóstico do estado real da estrutura.

Num trabalho de Inspeção, é fundamental identificar as anomalias, conhecer as causas que lhes deram origem, prever a sua evolução, conhecer todos os trabalhos de reabilitação que se pode utilizar e estimar os respetivos custos.

Conforme constatou-se no trabalho desenvolvido, a anomalia não estrutural mais comum nas pontes e viadutos na Madeira, é a presença de manchas, escorrências e eflorescências. Esta anomalia manifesta-se em especial nos encontros e no tabuleiro e deve-se principalmente à inexistente ou mau funcionamento dos sistemas de drenagem. O descasque ou fendilhação do betão é a anomalia estrutural mais representada nas obras referidas.

As reparações melhoram o estado da ponte, podendo não alterar a velocidade de deterioração. Mas a manutenção por outro lado, pode atrasar a deterioração mas não melhora a condição da ponte.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

<http://www.vialitoral.com/>

<http://www.viaexpresso.com/>

Appleton, J. (1997). *Curso de durabilidade, reparação e reforço de estruturas*. Lisboa: Instituto Superior Técnico.

Branco, F., & Brito, J. d. (2004). *Diagnóstico e patologia de construção em betão armado*. Instituto Superior Técnico: 2004.

Brito, A. J. (2002). *Folhas da disciplina de pontes*. Instituto Superior Técnico- Departamento de Engenharia Civil.

CEB. (1992). *Bulletin d'information n°162- Assessment of concrete structures and design procedures for up-grading*. Prague: Comité Euro-internacional du beton.

CEN. (2004). *Designs of Steel Structures, Part 2 (Bridges)*. Brussels: EN 1993-2.

CEN. (2002). *Eurocódigo 0: Bases para o projecto de estruturas*. Bruxelas: NP EN 1990.

CEN. (2004). *Eurocódigo 2: Projeto de Estruturas de betão- Parte 1-1*. Bruxelas: EN 1992-1-1.

Cóias, V. (2006). *Inspecções e Ensaios na Reabilitação de Edifícios*. Lisboa: IST PRESS.

Costa, A. (2006). *Durabilidade-Estruturas de betão*. Lisboa: Reabilitação e Reforço de Estruturas-Diploma de formação avançada em Engenharia de Estruturas.

Costa, A. (2008). *Patologia do betão armado- Anomalias e mecanismos de deterioração*. Lisboa: Instituto Superior Técnico.

Costa, A. (2006). Reabilitação e Reforço de Estruturas- Diploma de Formação Avançada em Engenharia de Estruturas. In *Durabilidade- Estruturas de Betão*. Lisboa: Instituto Superior Técnico.

Coutinho, M. S. (1998). *Melhoria da durabilidade dos betões por tratamento da cofragem*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto- Dissertação para Doutoramento

Coutinho, S. (2006). *O fabrico e as propriedades do betão*. Lisboa: LNEC.

Decreto Legislativo Regional, 1/M (2004).

DNIT. (2010). *Manual de recuperação de pontes e viadutos rodoviários*. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes.

- Eloi, F., Moldovan, I., & Marques, M. B. (2013). Condition Assessment of Bridges: Past, Present and Future. In *Condition Assessment of Bridges: Past, Present and Future* (pp. 7-25). Lisboa: Universidade Católica Editora.
- Ferreira, R. M. (29 de Junho de 2011). Caracterização do betão da Ponte Luiz Bandeira em Sejães. *ASCP'2011 – 2º Congresso Nacional sobre Segurança e Conservação de Pontes*, pp. 515-522.
- Guerra, J. (2010). *Funchal: breve cronologia 1419-1976*. Funchal.
- Lourenço, L., & Mendes, L. (2009). Paâmetros de avaliação de patologias em obras de arte especiais., (p. 5).
- Lúcio, V. (2008). *Apontamentos da Cadeira de Reforço e Reparação de Estruturas - Durabilidade*. Lisboa: Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.
- Mills, R. (1987). *"Mass transfer of gas and water through concrete"*. Detroit: ACI SP-100.
- Pedro, J. O. (2007). *Pontes*. Instituto Superior Técnico- Departamento de Engenharia Civil e Ambiente.
- Reis, A. J. (2002). Folhas da disciplina de pontes.
- Ryall, M. J. (2000). *Manual of Bridge Engineering*. London.
- Salta, M. (2013). *Estruturas de Betão- Factores e requisitos de durabilidade*. Lisboa: Seminário "Manutenção e reparação de estruturas"- LNEC.
- Silva, F. A. (1998). O arquipélago da Madeira na Legislação Portuguesa. Funchal.
- Silva, P. (2005). *As ferramentas E-learning no ensino de pontes*. Universidade do Minho: Tese de Mestrado.
- Tridon, M. (2009). *Techniques de construction-Cycle Inspection des Ouvrages D'Art*. Champs-sur-Marne: École Nationale des Ponts et Chaussées.
- Vieira, A. (2003). *Manual de Inspeções Principal*. Lisboa: Betar.

ANEXO A

[illegible]

CP's registration records dated from 1989

ANEXO B

JAE

D. S. PONTES

FICHA DE INSPECÇÃO

N.º 5

NOME DA PONTE

PONTE METÁLICA DO PIMÃO SOBRE O RIO DOURO

DISTRITO

VILA REAL

DATA INSPECÇÃO








92/08/05



EN 323









TIPO	TIPO DE AVALIAÇÃO	ESTADO DE CONSERVAÇÃO EM REPARAR	OBSERVAÇÕES
ENCONTROS	Verticalidade e alinhamento	<input type="checkbox"/>	
	Sistemas de drenagem	<input type="checkbox"/>	
	Pisamentos ou fendas	<input type="checkbox"/>	
	Proteções	<input type="checkbox"/>	
	Sinais de aviso ou inter-escanções	<input type="checkbox"/>	
	Guardas	<input type="checkbox"/>	
	Aberto imediato	<input type="checkbox"/>	
	Diversos	<input type="checkbox"/>	
	Verticalidade e alinhamento	<input type="checkbox"/>	
	Pisamentos ou fendas	<input type="checkbox"/>	
PILARES	Sinais de aviso ou inter-escanções	<input type="checkbox"/>	
	Diversos	<input type="checkbox"/>	
	Sistemas de drenagem	<input type="checkbox"/>	
	Fendas ou dilatações	<input type="checkbox"/>	
	Fendas ou deflexões	<input type="checkbox"/>	
	Ocorrência em estruturas	<input type="checkbox"/>	
	Pisamentos ou fendas em peças de betão	<input type="checkbox"/>	
	Guardas	<input type="checkbox"/>	
	Enfoque, a perfil transversal e abóbada	<input type="checkbox"/>	
	Contingentes metálicos	<input type="checkbox"/>	
TABULEIRO	Paralelos de apoio	<input type="checkbox"/>	
	Aspeto da faixa de rodagem e passeios	<input type="checkbox"/>	
	Fendas ou fendas em peças metálicas	<input type="checkbox"/>	
	Sistemas de iluminação e outros	<input type="checkbox"/>	
	Diversos	<input type="checkbox"/>	
	Verticalidade e alinhamento	<input type="checkbox"/>	
	Sistemas de drenagem	<input type="checkbox"/>	
	Fendas no interior e laterais	<input type="checkbox"/>	
	Outros	<input type="checkbox"/>	
	Verticalidade	<input type="checkbox"/>	
ABÓBADAS		<input type="checkbox"/>	
		<input type="checkbox"/>	
		<input type="checkbox"/>	
		<input type="checkbox"/>	
		<input type="checkbox"/>	
		<input type="checkbox"/>	
		<input type="checkbox"/>	
		<input type="checkbox"/>	
		<input type="checkbox"/>	
		<input type="checkbox"/>	









JAE inspection records dated from 1992






ANEXO C

OA 1		Designação: Ponte sobre a Ribeira Brava Matrícula: VE3.001+320.PO.3.0#0.0
		Tipo de estrutura: simples/ apoiado Nº de vãos: 1 (contínuo) Largura: 11 m Comprimento: 22,2 m (vão máximo)
OA 2		Designação: Ponte no Rosário Matrícula: VE4.010+870.PO.4.0#0.0
		Tipo de estrutura: simples/ apoiado Nº de vãos: 1 (contínuo) Largura: 11,0 m Comprimento: 28,63 m (vão máximo)
OA 3		Designação: Ponte no Rosário 2 Matrícula: VE4.013+270.PO.9.0#0.0
		Tipo de estrutura: simples/ apoiado Nº de vãos: 1 (contínuo) Largura: 11,7 m Comprimento: 17,33 m (vão máximo)
OA 4		Designação: Ponte no Seixal (rib. da Janela) Matrícula: VE2.006+120.PO.9.0#2.0
		Tipo de estrutura: simples/ apoiado Nº de vãos: 1 (contínuo) Largura: 9,5 m Comprimento: 21,1 m
OA 5		Designação: Ponte sobre rib. da Ponta do Sol Matrícula: VE3.005+350.PO.10.0#0.0
		Tipo de estrutura: Pórtico Nº de vãos: 1 (contínuo) Largura: 10,55 m Comprimento: 15,5 m
OA 6		Designação: Ponte sobre ribeira da Janela Matrícula: VE2.012+900.PO.13.0#0.0
		Tipo de estrutura: Pórtico Nº de vãos: 1 (contínuo) Largura: 10,9 m Comprimento: 49,75 m
OA 7		Designação: Ponte no arco da Calheta Matrícula: VE3.011+750.PO.14.0#0.0
		Tipo de estrutura: Vãos múltiplos Nº de vãos: 3 (contínuo) Largura: 11,6 m Comprimento: 53,75 m (vão máx=21,75 m)

OA 8		Designação: Ponte da Atouguia Matrícula: VE3.013+200.PO.16.0#0.0
		Tipo de estrutura: vãos múltiplos Nº de vãos: 2 (contínuo) Largura: 11,0 m Comprimento: 44,5 m (vão máx=22,25 m)
OA 9		Designação: Ponte sobre a rib. de São Vicente Matrícula: VE4.016+300.PO.18.0#0.0
		Tipo de estrutura: simples/ apoiado Nº de vãos: 1 (contínuo) Largura: 11,5 m Comprimento: 36,0 m (vão máximo)
OA 10		Designação: Ponte sobre os Túneis da Calheta Matrícula: VE3.015+100.PO.19.0#0.0
		Tipo de estrutura: vãos múltiplos Nº de vãos: 3 (contínuos) Largura: 10,41 m Comprimento: 67,6 m (vão máx=43,6 m)
OA 11		Designação: Ponte da Velha Matrícula: VE3.021+190.PO.33.0#0.0
		Tipo de estrutura: vãos múltiplos Nº de vãos: 3 (contínuo) Largura: 17,5 m Comprimento: 33,7 m (vão máximo)
OA 12		Designação: Ponte do Paúl Matrícula: VE3.021+470.PO.35.0#0.0
		Tipo de estrutura: vãos múltiplos Nº de vãos: 3 (contínuos) Largura: 15,0 m Comprimento: 170 m (vão máx=75 m)
OA 13		Designação: Ponte entre Calheta e Prazeres Matrícula: VE3.016+350.PO.22.0#0.0
		Tipo de estrutura: vãos múltiplos Nº de vãos: 3 (contínuos) Largura: 11,8 m Comprimento: 89,8 m (vão máx=35,0 m)
OA 14		Designação: Ponte da Ribeira Funda Matrícula: VE3.018+030.PO.26.0#0.0
		Tipo de estrutura: vãos múltiplos Nº de vãos: 3 Largura: 14,0 m Comprimento: 279,5 m (vão máx=135,0 m)
OA 15		Designação: Ponte do Coelho Matrícula: VE3.021+810.PO.36.0#0.0
		Tipo de estrutura: vãos múltiplos (3) Largura: 15,0 m Comprimento: 87,0 m (vão máx=35,0 m)

OA 16		Designação: Ponte sobre a Ribeira do Inferno Matrícula: VE2.001+940.PO.2.0#0.0
		Tipo de estrutura: vão múltiplos Nº de vãos: 3 (contínuos) Largura: 9,5 m Comprimento: 35,38 m (vão máx=14,41 m)
OA 17		Designação: Ponte em Santana Matrícula: VE1.017+980.PO.29.0#0.0
		Tipo de estrutura: vão múltiplos Nº de vãos: 2 Largura: 10,3 m Comprimento: 46,7 m (vão máx= 24,5 m)
OA 18		Designação: Ponte da Maloeira Matrícula: VE3.022+100.PO.37.0#0.0
		Tipo de estrutura: vãos múltiplos Nº de vãos: 5 (contínuos) Largura: 25,0 m Comprimento: 181,0 m (vão máx=40,5 m)
OA 19		Designação: Ponte da Cova Matrícula: VE3.022+520.PO.39.0#0.0
		Tipo de estrutura: vãos múltiplos Nº de vãos: 3 (contínuos) Largura: 25,0 m Comprimento: 179,0 m (vão máx=75,0 m)
OA 20		Designação: Ponte da Quinta Matrícula: VE1.000+580.PO.1.0#8.0
		Tipo de estrutura: vãos múltiplos Nº de vãos: 2 (contínuos) Largura: 12,2 m Comprimento: 42,0 m (vão máx=27,5 m)
OA 21		Designação: Ponte do Faial Matrícula: VE1.010+600.PO.19.0#0.0
		Tipo de estrutura: vãos múltiplos Nº de vãos: 5 (contínuos) Largura: 14,0 m Comprimento: 171,6 m (vão máx=42,3 m)
OA 22		Designação: Ponte sobre Rocha do Navio 1 Matrícula: VE1.014+450.PO.21.0#0.0
		Tipo de estrutura: vão múltiplos Nº de vãos: 3 (contínuos) Largura: 11,3 m Comprimento: 47 m (vão máx=20,0 m)
OA 23		Designação: Ponte sobre a Rocha do Navio 2 Matrícula: VE1.014+450.PO.21.0#1.0
		Tipo de estrutura: vão múltiplos (4) Largura: 7,67 m Comprimento: 65,4 m (vão máx=19,2 m)

OA 24		Designação: Ponte sobre a Rocha do Navio 3 Matrícula: VE1.014+400.PO.21.0#2.0
		Tipo de estrutura: vãos múltiplos Nº de vãos: 3 (contínuos) Largura: 7,75 m Comprimento: 48,0 m (vão máx= 20,0 m)
OA 25		Designação: Ponte no Porto da Cruz Matrícula: VE1.002+650.PO.5.0#0.0
		Tipo de estrutura: vão múltiplos Nº de vãos: 3 (contínuos) Largura: 15,35 m Comprimento: 49,25 m (vão máx=25,75 m)
OA 26		Designação: Ponte no Porto da Cruz 2 Matrícula: VE1.002+750.PO.6.0#0.0
		Tipo de estrutura: vãos múltiplos Nº de vãos: 2 (contínuos) Largura: 12,0 m Comprimento: 40,0 m (vão máx=20,0 m)
OA 27		Designação: Ponte no Porto da Cruz 3 Matrícula: VE1.005+330.PO.8.0#0.0
		Tipo de estrutura: vãos múltiplos Nº de vãos: 3 (contínuos) Largura: 14,8 m Comprimento: 115,95 m (vão máx=52,55 m)
OA 28		Designação: Ponte no Porto da Cruz 4 Matrícula: VE1.006+270.PO.11.0#0.0
		Tipo de estrutura: vão múltiplos Nº de vãos: 3 (contínuos) Largura: 11,5 m Comprimento: 58,31 m (vão máx=23,7 m)
OA 29		Designação: Ponte no Porto da Cruz 5 Matrícula: VE1.002+320.PO.4.0#0.0
		Tipo de estrutura: vãos múltiplos (3) Nº de vãos: 3 Largura: 14,0 m Comprimento: 44,3 m (vão máx=24,8 m)
OA 30		Designação: Ponte de Moínhos Matrícula: VE1.009+980.PO.18.0#0.0
		Tipo de estrutura: vãos múltiplos Nº de vãos: 5 Largura: 10 m Comprimento: 78 m (vão máx=16,5 m)
OA 31		Designação: Viaduto no Faial Matrícula: VE1.006+750.VU.13.0#0.0
		Tipo de estrutura: vão múltiplos (4) Largura: 16,45 m Comprimento: 116,78 m (vão máx= 33,55 m)

OA 32		Designação: Viaduto ramo de saída para Eiras Matrícula: VE5.001+650.VU.7.0#0.0
		Tipo de estrutura: vãos múltiplos Nº de vãos: 5 (contínuos) Largura: 16,5 m Comprimento: 150,9 m (vão máx= 34,3 m)
OA 33		Designação: Viaduto antes do Túnel de Cales Matrícula: VE1.001+120.VU.2.0#1.0
		Tipo de estrutura: vãos múltiplos Nº de vãos: 7 (contínuos) Largura: 11,9 m Comprimento: 163,1 m (vão máx= 23,3 m)
OA 34		Designação: Viaduto no Ramo de Saída Matrícula: VE2.006+100.VU.8.0#1.0
		Tipo de estrutura: vãos múltiplos Nº de vãos: 6 (contínuos) Largura: 11,58 m Comprimento: 71,55 m (vão máx= 17,1 m)
OA 35		Designação: Viaduto na Cancela Matrícula: VE5.003+450.VU.11.0#0.0
		Tipo de estrutura: vãos múltiplos Nº de vãos: 4 (contínuos) Largura: 13,75 m Comprimento: 135,9 m (vão máx= 38 m)
OA 36		Designação: Viaduto na Cancela 2 Matrícula: VE5.003+680.VU.12.0#0.0
		Tipo de estrutura: vãos múltiplos Nº de vãos: 4 (contínuos) Largura: 13,46 m Comprimento: 137,9 m (vão máx= 39,4 m)

ANEXO D

GUIA DE ANOMALIAS

ANOMALIA

Vazios ou zonas ocas no betão

COMPONENTES

Muros; encontros; apoios intermédios; tabuleiro; cornijas; guarda-corpos (acrotérios).

ILUSTRAÇÃO



DESCRIÇÃO

Anomalia no betão caracterizada pela existência de zonas ocas, à superfície ou no seu interior. O betão apresenta uma superfície não homogénea, sendo visíveis agregados de maior dimensão com vazios entre si e facilmente removíveis.

CAUSAS

Deficiente execução do betão, com granulometria inadequada dos agregados, ou má aplicação em obra, com vibração insuficiente e segregação.

CONSEQUÊNCIAS

Diminui a resistência do betão, facilitando a fixação e penetração de agentes agressivos, favorecendo a sua deterioração. A exposição das armaduras e posterior corrosão é outra consequência desta patologia.

TRABALHOS DE RETIFICAÇÃO PROPOSTOS

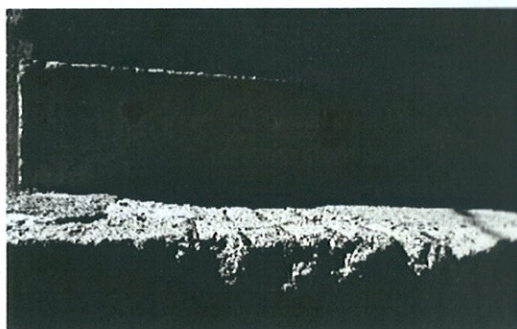
Reparação do betão superficial (< 30 mm) removendo o betão degradado e aplicando argamassa não retrátil ou betão projetado.

Reparação do betão em profundidade (> 30 mm) removendo o betão degradado, limpando as armaduras e aplicando argamassa não retrátil ou betão projetado.

Reparação do betão em profundidade (> 30 mm) removendo o betão degradado, substituindo ou reforçando as armaduras, aplicando argamassa não retrátil ou betão projetado ou betão moldado *in situ*.

ANOMALIA**Corrosão das armaduras principais****COMPONENTES**

Muros de ala; apoios intermédios; tabuleiro; cornijas; guarda-corpos (acrotérios); guardas de segurança (lancis).

ILUSTRAÇÃO**DESCRIÇÃO**

Trata-se de uma patologia no aço, à qual estão associados danos no betão. Este dano caracteriza-se pela exposição da armadura principal. Encontra-se nos casos em que a armadura é visível, podendo estar completamente exposta ou ainda só ter aflorado.

CAUSAS

A corrosão das armaduras é causada pelo contato com o ar e facilitada pela presença de água. As causas que levam principalmente à despassivação das armaduras são a carbonatação e a penetração de cloretos, pois estes têm a capacidade de romperem a camada de óxido que protege as armaduras, despassivando-a e dando início à sua corrosão.

CONSEQUÊNCIAS

Quando a corrosão ultrapassa a camada superficial da armadura, existe uma redução da sua seção, traduzindo numa perda da capacidade resistente dos elementos estruturais, conduzindo em última instância à rotura.

Quando as armaduras expostas estão tensionadas, pode ocorrer uma fragilização acentuada destas, devido à perda de seção (corrosão sob tensão). Como consequência deste fenómeno pode dar-se a rotura frágil das armaduras, o que, em casos mais graves e generalizados, pode inclusive levar ao colapso das estruturas.

Devido aos produtos expansivos da corrosão das armaduras, ocorre destacamento da camada de betão de recobrimento. Uma vez verificado este fenómeno, as armaduras ficam ainda mais expostas, gerando um aumento da velocidade de corrosão.

TRABALHOS DE RETIFICAÇÃO PROPOSTOS

Reparação do betão em profundidade (>30 mm) removendo o betão degradado, limpando as armaduras e aplicando argamassa não retrátil ou betão projetado.

Reparação do betão em profundidade (> 30 mm) removendo o betão degradado, substituindo ou reforçando as armaduras, aplicando argamassa não retrátil ou betão projetado ou betão moldado *in situ*. Saliente-se que a substituição dos varões deve ser efetuada quando a redução da seção transversal destes, é relevante.

ANOMALIA

Corrosão das armaduras construtivas

COMPONENTES

Muros de ala; encontros; apoios intermédios; tabuleiro; guarda-corpos (acrotérios).

ILUSTRAÇÃO**DESCRIÇÃO**

Existência de varões construtivos (ex.: esticadores de cofragem) incorporados no elemento de betão, mas que apresentam uma parte muito próxima, ou mesmo exterior, à superfície do betão. Podem ser encontrados dobrados e apresentar corrosão.

Considera-se que existe exposição de armaduras sempre que estas armaduras são visíveis, independentemente do seu comprimento.

CAUSAS

Deve-se à falta de cuidado durante a execução da obra de arte, não tendo, os varões, sido devidamente cortados e tapados os furos com material protetor.

A corrosão deve-se ao facto de estarem expostos sob a ação de agentes que favorecem o seu desenvolvimento.

CONSEQUÊNCIAS

A existência destes varões não implica degradação para a estrutura. Porém, devido à exposição a que estão sujeitos, na grande maioria dos casos apresentam corrosão, o que poderá originar o descasque do betão em redor.

TRABALHOS DE RETIFICAÇÃO PROPOSTOS

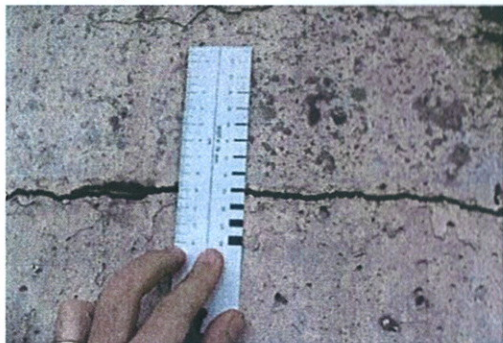
Remoção de pregos de cofragem ou varões;

Preenchimento ou selagem dos furos dos esticadores da cofragem sem esticadores.

Reparação do betão superficial (< 30 mm) removendo o betão degradado e aplicando argamassa não retrátil ou betão projetado.

ANOMALIA**Fendilhação****COMPONENTES**

Muros de ala; encontros; apoios intermédios; tabuleiro; guarda-corpos (acrotérios); passeios.

ILUSTRAÇÃO**DESCRIÇÃO**

Caracteriza-se pela existência de fendas que podem ter espessuras, comprimentos e profundidades variadas, bem como diferentes orientações (vertical, horizontal, oblíqua). Podem aparecer isoladas ou com afastamentos regulares.

Em tabuleiros vigados, as fissuras podem ter início na ligação das vigas/nervuras com as consolas, prolongando-se depois pela face inferior do tabuleiro.

CAUSAS

Estas patologias podem estar associadas à qualidade do betão ou à má execução.

No caso de aparecerem isoladas, com grande abertura, que pode ser variável ao longo da sua extensão, devem estar relacionados com assentamentos das fundações. Se tiverem espaçamentos regulares e pequena espessura, é provável que sejam devidas a fenómenos de retração do betão.

No caso das vigas, caso sejam o prolongamento de fendas existentes na face inferior do elemento, devem ter origem estrutural, por flexão, devidas a solicitações superiores às previstas ou à carência de armadura. Nas faces laterais podem ter origem estrutural, por falta de resistência ao esforço transversal.

Quando resultam da propagação de fendas diagonais vindas da zona dos apoios serão devidas à transmissão da compressão gerada pelo pré-esforço.

Nas obras com viés ou em curva, esforços de torção não considerados no projeto também podem contribuir para o aparecimento de fissuras oblíquas, juntos dos encontros.

CONSEQUÊNCIAS

Em ambientes húmidos, as fissuras poderão permitir o acesso de agentes agressivos às armaduras.

Caso as fissuras sejam acompanhadas de eflorescências (depósitos de materiais transportados pela água) deve-se procurar perceber a origem da água que se infiltra no betão, pois a sua presença potencia a corrosão das armaduras do tabuleiro.

TRABALHOS DE RETIFICAÇÃO PROPOSTOS

Antes de qualquer intervenção, deve-se avaliar quais as implicações que as fissuras observadas, ou os fenómenos que as originaram, podem ter na segurança estrutural. Deve-se seguir a sua evolução (monitorização), em função das condições de exposição ambiental, controlando a abertura das fissuras observadas. Em função do desenvolvimento da fissura deve ser realizado um estudo complementar para determinar a intervenção mais adequada, que poderá passar por: preenchimento ou selagem por injeção, de fissuras no betão; pintura da superfície de betão, substituição ou reforço de armaduras, entre outros trabalhos.

ANOMALIA

Corrosão no aparelho de apoio

COMPONENTES

Aparelhos de apoio.

ILUSTRAÇÃO



DESCRIÇÃO

Manchas acastanhadas formadas por produtos de corrosão, em locais húmidos ou nos encontros sujeitos a escorrência de água proveniente de juntas de dilatação, o contato da água com as peças metálicas irá desencadear o processo de corrosão.

Os pontos preferenciais onde a corrosão tem início são as superfícies de contato entre peças diferentes, pois são pontos onde a humidade penetra mais facilmente.

CAUSAS

Quando a pintura não tem boas características anti-corrosivas, a corrosão terá lugar sempre que estejam criadas condições de contato entre a água e oxigénio e o aço.

Também o atrito gerado pelo movimento entre as peças provoca o descasque da pintura e/ou da galvanização, deixando assim a superfície do aço mais exposta e vulnerável à corrosão.

A corrosão dos aparelhos de apoio é também favorecida pela falta de limpeza, pois a sujidade propicia a acumulação de humidade.

CONSEQUÊNCIAS

Nos casos mais avançada, pode haver delaminação do aço, resultando na perda progressiva de material. No caso de rolos metálicos, estes podem ficar ovalizados, devido à compressão a que estão sujeitos não ser igual em todo o perímetro do rolo, pelo que a perda de material é mais acentuada nas zonas onde há maior atrito.

Nos aparelhos construídos por chapa de inox + teflon sobre blocos de neoprene, os produtos de corrosão do aço podem provocar o empolamento entre a chapa de embasamento superior e a chapa de inox, com consequente aumento do coeficiente de atrito ao deslizamento entre as duas superfícies.

TRABALHOS DE RETIFICAÇÃO PROPOSTOS

Limpeza dos aparelhos de apoio e lubrificação das partes móveis.

Reparação do plinto de assentamento do aparelho de apoio.

Pintura das chapas de embasamento dos aparelhos de apoio.

Reaperto das fixações dos aparelhos de apoio.

Substituição do componente.

ANOMALIA**Acumulação de sujidade em aparelhos de apoio****COMPONENTES**

Aparelho de apoio.

ILUSTRAÇÃO**DESCRIÇÃO**

Acumulação de sedimentos e/ou detritos arrastados ou sobrantes da construção, que se depositam em redor ou sobre os aparelhos de apoio. A acumulação de sujidade favorece a eriação de humidade sobre as peças metálicas, a qual por sua vez irá eriar um ambiente favorável ao desencadear do processo de corrosão. Outro aspeto a salientar é a acumulação de detritos nas peças móveis dos aparelhos de apoio, casos mais graves, pode inclusivamente provocar a obstrução do aparelho.

CAUSAS

Principalmente falta de limpeza durante e após a construção da obra. No período de vida útil da obra é necessário garantir uma manutenção periódica que evite a acumulação de sedimentos sobre os encontros e em redor dos aparelhos de apoio. Assim, a falta de limpeza dos aparelhos de apoio, falta de limpeza das mesas de apoio dos encontros, e o arrastamento de detritos transportados pela água que se escoa para o interior dos encontros, são as principais causas deste problema.

CONSEQUÊNCIAS

Perda progressiva da capacidade do componente absorver os deslocamentos impostos pela estrutura.

Acumulação de água e consequente corrosão do equipamento.

Nos casos mais graves, a acumulação de sedimentos associados à falta de lubrificação, pode inclusivamente provocar o bloqueamento do aparelho de apoio.

TRABALHOS DE RETIFICAÇÃO PROPOSTOS

Limpeza dos aparelhos de apoio,

Lubrificação das partes móveis,

Reparação do plinto de assentamento do aparelho de apoio.

Pintura das chapas de embasamento dos aparelhos de apoio.

Reaperto das fixações dos aparelhos de apoio.

ANOMALIA

Descasque da pintura em guarda-corpos metálicos

COMPONENTES

Guarda-corpos.

ILUSTRAÇÃO**DESCRIÇÃO**

Desgaste ou destaque da superfície metálica do componente, pontual ou generalizado. Em guarda-corpos metálicos, pode ser visível corrosão do aço, apresentando na sua superfície uma cor de óxido.

CAUSAS

A má qualidade do esquema de pintura aplicado, preparação deficiente da superfície, ausência de primário ou insuficiente espessura da pintura, contribui para o seu descasque. Exposição do componente em ambientes particularmente agressivos, favorece a deterioração da pintura, desprotegendo os elementos metálicos que ficam sujeitos à corrosão. Embate acidental de algum objeto contendente no componente.

PREVISÃO E CONSEQUÊNCIAS

A corrosão inicia-se normalmente nas zonas de ligação entre perfis, generalizando gradualmente até atingir zonas mais extensas, a corrosão ao alastrar, vai provocar o descasque da pintura. Caso não haja intervenção corretiva, a corrosão irá provocar a redução do aço em camadas cada vez mais profundas, podendo vir a resultar na delaminação do aço, com significativa perda de seção nos perfis atingidos.

TRABALHOS DE RETIFICAÇÃO PROPOSTOS

Pintura de superfície metálica em guarda-corpos, incluindo preparação de superfície.
Pintura de superfície metálica com corrosão pontual, ou seja, em zonas localizadas.

ANOMALIA**Deformação em guarda-corpos metálicos****COMPONENTES**

Guarda-corpos.

ILUSTRAÇÃO**DESCRIÇÃO**

Existência de deformações localizadas nos elementos que constituem os guarda-corpos, estendendo-se também às fixações. Muitas vezes os elementos em que os guarda-corpos estão fixados (tabuleiro ou cornijas) também ficam danificados em resultado de embates.

CAUSAS

Principalmente sobretudo a embates de veículos resultantes de acidentes rodoviários em que tenha ocorrido o galgamento dos guarda-corpos ou lancis dos passeios.

CONSEQUÊNCIAS

Após a ocorrência de embates, o guarda-corpos perde grande da resistência ao choque na zona atingida. A quebra do betão em torno das fixações, também vai favorecer a corrosão dos penos de fixação e das armaduras de amarração, a qual vai provocar uma redução gradual do aço por oxidação, tornando a fixação menos resistente. Deve proceder-se à substituição dos elementos deformados e à reparação das fixações danificadas.

TRABALHOS DE RETIFICAÇÃO PROPOSTOS

Reparação de guarda-corpos metálico.
Substituição ou colocação de guarda-corpos metálicos.

ANOMALIA

Deformação em guardas de segurança

COMPONENTES

Guarda de segurança.

ILUSTRAÇÃO**DESCRIÇÃO**

Existência de danos no componente provocado por embates de veículos. As deformações ocorrem simultaneamente nos prumos verticais e nos perfis horizontais. A deformação é perceptível na observação do perfil ao longo do comprimento da obra, ou seja, olhando ao longo do passeio a partir de um encontro.

CAUSAS

Embates acidentais de veículos.

As obras de arte que se inserem em traçados ou curvas mais perigosas devem ser dotadas de guardas de segurança reforçadas, ou perfis “New-Jersey”, que possibilite trabalhos de substituição mais rápidos.

CONSEQUÊNCIAS

Após o embate, a guarda de segurança perde grande parte da resistência. A deformação dos prumos verticais implica, na sua maior parte, a rotura dos elementos de fixação.

É fundamental no decurso das inspeções de rotina, que sejam assinaladas e registadas as zonas deformadas das guardas de segurança.

TRABALHOS DE RETIFICAÇÃO PROPOSTOS

Reparação da fixação da guarda de segurança.

Reparação de maciços de amarração de guardas de segurança.

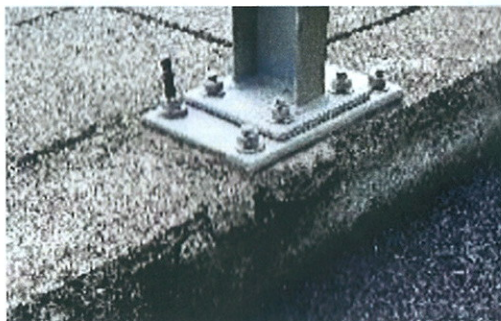
Substituição ou colocação de guarda de segurança metálica.

Substituição ou colocação de prumo de guarda metálica.

Substituição ou colocação de perfil de segurança metálica.

ANOMALIA**Descasque do betão em amarrações de guardas de segurança****COMPONENTES**

Guardas de segurança.

ILUSTRAÇÃO**DESCRIÇÃO**

Quebra ou fissuração do betão em torno das amarrações das guardas de segurança. Esta situação pode surgir isoladamente, ou ser acompanhada da deformação da guarda de segurança provocada por embates de veículos

CAUSAS

Falta de espessura da camada de recobrimento, se a espessura do recobrimento for inferior ao regulamentar (EN 1317), dependendo da agressividade ambiental, os pernos e as armaduras podem sofrer corrosão. O aumento de volume associado aos produtos da corrosão provoca a fendilhação e posterior descasque do betão de recobrimento.

Ocorrência de embates de veículos, em que este provocam esforços de tração e corte nos elementos de fixação superiores à resistência que possuem.

CONSEQUÊNCIAS

Se não for corrigido, a falta de betão de recobrimento vai favorecer a corrosão dos pernos de fixação e das armaduras da amarração da guarda de segurança. Essa corrosão vai provocar uma perda gradual por oxidação do aço, tornando assim a fixação menos resistente.

É fundamental avaliar o estado das amarrações das guardas de segurança, essa avaliação permite fazer um levantamento dos pontos onde existem danos.

TRABALHOS DE RETIFICAÇÃO PROPOSTOS

Reparação da fixação da guarda de segurança.

Reparação de maciços de amarração de guardas de segurança.

Substituição ou colocação de guarda de segurança metálica.

Substituição ou colocação de prumo de guarda metálica.

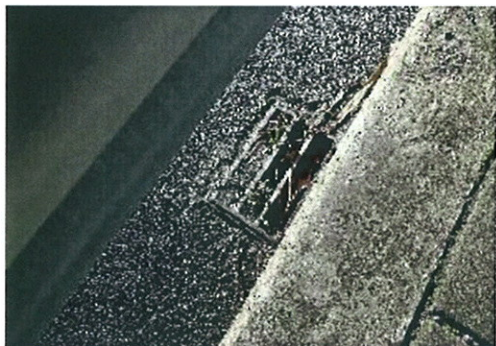
Reaperto ou verificação de apertos de fixações em guardas de segurança.

ANOMALIA

Entupimento de órgãos de drenagem

COMPONENTES

Drenagem (sumidouros/gárgulas); revestimento de via.

ILUSTRAÇÃO**DESCRIÇÃO**

Obstrução parcial ou total dos órgãos de drenagem nos tabuleiros das pontes. Essa obstrução deve-se na maior parte das vezes, à acumulação de sedimentos (partículas terrosas) que são arrastados pelas águas que se escoam nas bermas das faixas de rodagem. A obstrução também pode ser provocada pela acumulação de objetos ou pelo crescimento de vegetação.

CAUSAS

Acumulação de sedimentos nas bermas da faixa de rodagem, devido à falta de limpeza e manutenção periódica.

CONSEQUÊNCIAS

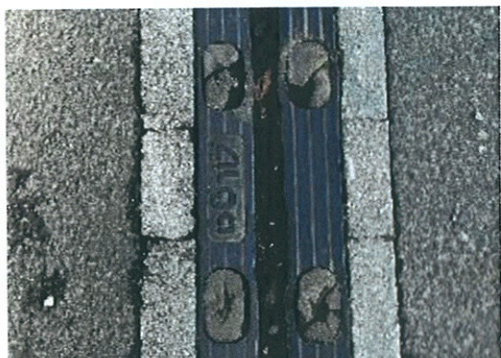
O entupimento dos órgãos de drenagem podem provocar a acumulação de água sobre a via, que por sua vez, prejudica as condições de segurança para o tráfego ao potencializar situações de “aquaplaning”, bem como criar condições desfavoráveis à infiltração de água através do tabuleiro, nomeadamente através de juntas entre elementos que não estejam selados corretamente.

TRABALHOS DE RETIFICAÇÃO PROPOSTOS

Limpeza da via.
Limpeza dos órgãos de drenagem.

ANOMALIA**Desaperto de fixações nas juntas de dilatação****COMPONENTES**

Juntas de dilatação.

ILUSTRAÇÃO**DESCRIÇÃO**

Manifesta-se através do som do batimento das juntas aquando da passagem dos veículos. Caracteriza-se pelo desaperto das porcas em relação ao perno, ou no caso da existência de parafusos, manifesta-se pela subida da cabeça dos parafusos.

CAUSAS

Tráfego contínuo que passa sobre a obra, e a força de impacto provocadas pelas rodas dos veículos.

Deficiências na colocação, nomeadamente com ausência da camada de transição, pois a camada de transição tem a função de amortecer e transmitir ao pavimento, forças de impacto sofridas pela junta, e ainda absorver parte dos deslocamentos da junta de dilatação.

CONSEQUÊNCIAS

O desaperto das fixações em juntas de dilatação é uma situação que deve ser resolvida a curto prazo após a sua deteção, pois a força de impacto causada pela passagem dos veículos, é muito grande e pode provocar uma evolução rápida deste problema, que pode culminar no desprendimento total da junta de dilatação.

TRABALHOS DE RETIFICAÇÃO PROPOSTOS

Limpeza de juntas de dilatação.

Reaperto ou verificação de aperto de fixações nas juntas de dilatação.

Preenchimento ou selagem da camada de transição com argamassa epoxy.

ANOMALIA

Degradação da camada de transição em juntas de dilatação.

COMPONENTES

Juntas de dilatação.

ILUSTRAÇÃO



DESCRIÇÃO

Quebra ou fissuração da camada de transição, acompanhada numa fase mais adiantada, de desprendimento, podendo ser acompanhada por desaperto das fixações, e da danificação dos bordos da junta de dilatação.

CAUSAS

Inadequação do material empregue na sua colocação, nomeadamente com falta de espessura e largura.

Idealmente a camada de transição deve ser constituída por um material resistente, ligeiramente flexível e não retrátil.

Se o material empregue não tiver certas propriedades mecânicas (ex. plasticidade) a camada de transição irá fendilhar mais facilmente, deixando um buraco entre o pavimento e a junta.

CONSEQUÊNCIAS

Com o passar do tempo, o material vai-se soltando, deixando descobertos buracos entre o pavimento e a junta, podendo esses buracos provocar danos nos rodados dos veículos.

Outra consequência é o desaperto das fixações e a degradação das juntas, devido à passagem dos veículos.

TRABALHOS DE RETIFICAÇÃO PROPOSTOS

Limpeza de juntas de dilatação.

Preenchimento ou selagem da camada de transição das juntas de dilatação com argamassa epoxy.

